

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка АСУ ТП приготовления органоводоугольных суспензий при переводе угольного котла на композиционное топливо

УДК 004.896:662.66.022.51-032.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Косинцев Андрей Георгиевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Планируемые результаты освоения

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>		
P1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1 ^{1**} , УК-2, ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.1)согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>		
P2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI , требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по

¹ ** - универсальные компетенции из СУОС ТПУ (для 2017 г. приема - приказ № 2226 от 01.03.2017 г).

		эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
P3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-5, ПК-6), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
P4 (P6)	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>		
P5	применять глубокие знания для	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-7),

(P4)	планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований	Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>		
P6 (P5)	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОК-2, ПК-8, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>педагогическая деятельность:</i>		
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК-11), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 8 сентября 2015 г. № 608н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 24 сентября 2015 г., регистрационный № 38993)
<i>Универсальные компетенции</i>		
P8	мыслить абстрактно, обобщать,	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОК-1, ОК-2),

	анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации	Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться	Требования ФГОС (УК-6, ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, УК-5, ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Профиль 4		
P14	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в автоматизированных системах управления технологическими процессами в теплоэнергетике и теплотехнике	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-6, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов (40.012 Профессиональный стандарт «Специалист по метрологии», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.061 Оператор-наладчик автоматических линий

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
П.А. Стрижак
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ74	Косинцеву Андрею Георгиевичу

Тема работы:

Разработка АСУ ТП приготовления органоводоугольных суспензий при переводе угольного котла на композиционное топливо	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	30.01.2019, №579/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	- Обзорные публикации и монографии с основными достижениями в области создания и использования композиционных топлив на основе промышленных отходов и низкосортных углей. - Схемы и описание работы современных котельных агрегатов (в том числе НР-18) различной мощности, работающих на композиционных топливах. - Экспериментальные стенды и разработанные в ТПУ методики проведения исследований для изысканий в рамках бакалаврской работы. - Библиотека перспективных компонентов органоводоугольных суспензий с известными свойствами. - Требования к системе управления циклов
---------------------------------	--

	приготовления топливных композиций: -трехуровневая система; -на основе микропроцессорной техники; -приготовление смесей не менее чем из 3 компонентов; -обеспечение 3 режимов управления; -обеспечение степени затухания переходных процессов не ниже 0,75.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Экспериментальные исследования. 2. Проектирование АСУ топливоприготовления. 3. Схема взаимосвязи оборудования верхнего, среднего и полевого уровней. 4. Разработка щита управления САУ топливоприготовления. 5. Расчет параметров настройки регулятора. 6. Видеокадр мнемосхемы АСУ. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схемы структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема принципиальная электрическая щита управления. 4 Схема монтажная. 5 Общий вид щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна
Социальная ответственность	Куликова Ольга Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Экспериментальные исследования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.19
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Косинцев Андрей Георгиевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 124 с., 20 рис., 28 табл., 71 источник.

Ключевые слова: система топливоприготовления, органоводоугольное топливо, суспензия, автоматизированная система управления, отходы нефтепродуктов, отходы углеобогащения, теплоэнергетика, теплотехника.

Объектом автоматизации является система топливоприготовления котла НР-18.

Цель работы – разработка АСУ ТП приготовления органоводоугольного топлива для котельного агрегата на основе микропроцессорных средств автоматизации.

В процессе выполнения работы проведены экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составлена структурная схема АСУ ТП топливоподачи, разработаны функциональная, принципиальная электрическая, монтажная схемы и общий вид щита управления, выбраны приборы и технические средства автоматизации с последующим составлением заказной спецификации.

В результате исследования разработана автоматизированная система управления процессом приготовления органоводоугольного топлива на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Основным преимуществом разработанной АСУ ТП является наличие программно-оперативного комплекса на базе SCADA-системы, который осуществляет разделение функций между автоматической системой и оперативным персоналом для повышения качества регулирования и быстродействия системы, а также позволяет своевременно среагировать на экстренную ситуацию в процессе эксплуатации системы и перевести технологический процесс в безопасный режим автоматически.

Обозначения и сокращения

ОВУТ – органоводогольное топливо;

ВУТ – водоугольное топливо;

КЖТ – композиционное жидкое топливо;

Фильтр-кек – типичные отходы углепереработки;

Кек Д – отходы углеобогащения каменного угля марки Д;

Кек К – отходы углеобогащения каменного угля марки К.

Оглавление

Введение.....	12
1 Экспериментальные исследования	19
2 Проектирование АСУ топливоприготовления	29
2.1 Анализ объекта автоматизации.....	29
2.2 Разработка структуры комплекса технических средств АСУ	34
2.3 Разработка функциональной схемы АСУ расходом топлива	39
2.4 Выбор технических средств и составление заказной спецификации .	42
2.4.1 Выбор регулирующего устройства	42
2.4.2 Выбор технических средств сигнализации уровня.....	45
2.4.3 Выбор датчика уровня	46
2.4.4 Выбор датчиков температуры.....	48
2.4.5 Выбор исполнительного механизма.....	49
2.4.6 Выбор блока управления исполнительным механизмом.....	50
2.4.7 Выбор насоса	51
3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего и полевого уровней.....	53
4 Разработка документации АСУ топливоприготовления	56
4.1 Перечни входных и выходных сигналов.....	56
4.2 Разработка принципиальной схемы АСУ топливоприготовления.....	58
4.3 Разработка монтажной схемы АСУ топливоприготовления	60
4.4 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции САУ	62
4.5 Разработка фрагментов математического, программного и информационного обеспечений	63
4.5.1 Математическое обеспечение	63
4.5.2 Программное обеспечение	64
4.5.3 Информационное обеспечение	66
5 Расчет параметров настройки регулятора	68
5.1 Идентификация объекта управления.....	68
5.2 Расчет параметров настройки регулятора.....	71
6 Видеокадр мнемосхемы АСУ	77
7 Финансовый менеджмент	81
7.1 Перечень работ и оценивание времени их выполнения.....	82
7.1.1 Смета затрат на проект	84

7.1.2	Материальные затраты	84
7.1.3	Амортизация компьютерной техники	85
7.1.4	Затраты на заработную плату	85
7.1.5	Затраты на социальные нужды	86
7.1.6	Прочие затраты.....	86
7.1.7	Накладные расходы.....	87
7.2	Смета затрат на оборудование и монтажные работы	87
7.3	Определение экономической эффективности проекта.....	89
8	Социальная ответственность	97
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	98
8.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создавать объект исследования.....	101
8.2.1	Повышенный уровень шума	101
8.2.2	Поражение электрическим током.....	103
8.2.3	Повышенный уровень вибраций	104
8.2.4	Отклонение показателей микроклимата	105
8.2.5	Пожаровзрывоопасность	106
8.2.6	Испарения нефтепродуктов.....	108
8.3	Экологическая безопасность	110
8.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	112
8.5	Заключение по разделу «Социальная ответственность».....	114
	Заключение	115
	Основные публикации автора магистерской диссертации:.....	116
	Список использованных источников	117
	Приложение А. Заказная спецификация средств автоматизации	125
	Приложение Б. Experimental research on the ignition of coal-water slurries	126
Графический материал:	на отдельных листах	
ФЮРА.421000.007 С1	Схема структурная	
ФЮРА.421000.007 С2	Схема функциональная	
ФЮРА.421000.007 Э3	Схема принципиальная электрическая	
ФЮРА.421000.007 С4	Схема монтажная	
ФЮРА.421000.007 ВО	Общий вид щита автоматизации	

Введение

За последние 30 лет мировым научным сообществом разработана группа технологий утилизации отходов переработки углей. В частности, можно выделить приготовление органоводоугольных топливных (ОВУТ) композиций и их сжигание в энергетических установках [1–7]. Также большие объемы (миллионы тонн) формирующихся ежегодно отходов переработки углей проблематично утилизировать при применении в строительстве, химических или нефтехимических производствах. Одним из перспективных направлений снижения технико-экономических проблем вовлечения низкокачественных углей и отходов углеобогащения в топливно-энергетический комплекс является применение на станциях органоводоугольных технологий. Эти технологии предполагают сжигание композиционных топлив вместо угля. Такие топлива, как правило, состоят из трех основных компонентов [8–12]: низкокачественного угля или отхода углеобогащения 40...50%, воды 30...40% (в том числе сточных или технологических загрязненных вод) и отработанной горючей жидкости 5...20% (трансформаторные, турбинные, автомобильные масла и т.д.). Процесс сжигания композиционного топлива характеризуется повышенными экономическими показателями по сравнению с процессом сжигания твердого натурального топлива [11, 12]. Помимо вопросов утилизации высокосольных отходов углеобогащения современные ОВУТ позволяют решить ряд экономических задач, что актуально в условиях нестабильности объемов добычи и цен (рисунок 1) на жидкие и газообразные топлива [13] совместно с возрастанием роли угля в теплоэнергетике в последнее время.

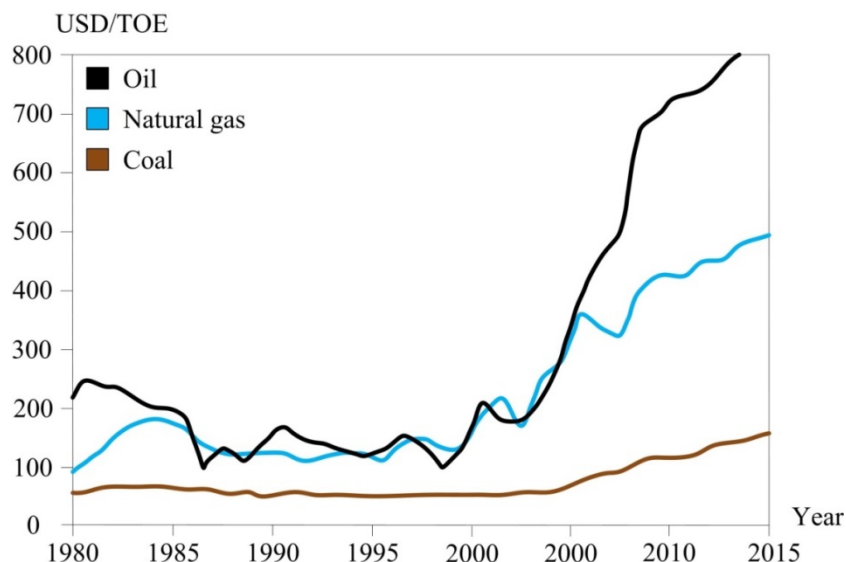


Рисунок 1 – Средняя стоимость твердых, жидких и газообразных углеводородов

По оценкам экспертов [14, 15] во многих странах мира, где расположены месторождения твердых топлив, в ближайшие десятилетия возрастет добыча и экспорт высококачественных марок угля и собственное потребление местных низкокачественных марок угля (рисунок 2 [17]). Увеличение объемов потребления угля в рамках традиционных технологий сжигания, несомненно, приведет к достаточно существенному ухудшению экологической обстановки в мире. При функционировании угольных тепловых электростанций в окружающую среду в составе дымовых газов поступают парниковые газы CO, CO₂, SO₂, NO_x, летучая зола, которые оказывают существенный вклад в парниковый эффект [16].

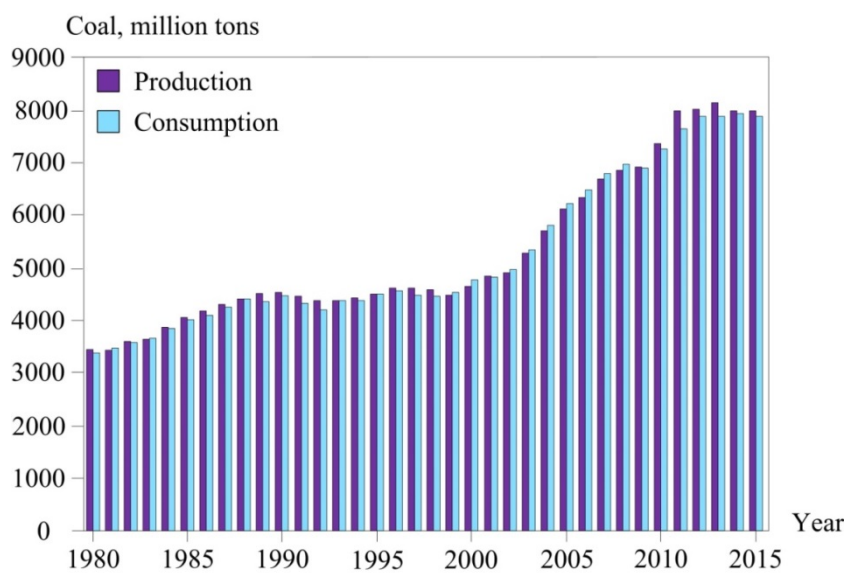


Рисунок 2 – Производство и потребление угля

Известны результаты широкомасштабных теоретических и экспериментальных исследований (например, [1–7]) процессов подготовки и сжигания водоугольных топливных композиций с использованием углей разной степени метаморфизма. Результаты [1–7] дают понимание об основных закономерностях процессов зажигания и горения ОВУТ. Разработаны [1–7, 18–21] экспериментальные методики, физические и математические модели, прогностические математические модели, методы и алгоритмы численного моделирования, получены зависимости интегральных характеристик от основных параметров процесса, сформулированы соответствующие выводы, заключения и рекомендации. Однако современные представления на основе исследований [1–7, 18–21] все-таки довольно ограничены, с точки зрения понимания влияния компонентов водоугольных суспензий на характеристики процессов зажигания. Кроме того, недостаточно полно исследованы смеси водоугольного топлива с различными органическими веществами, например, отработанными маслами и отходами нефтедобычи и нефтепереработки.

В различных странах (Китай, Германия, США, Япония, Индия, Россия и др.) можно наблюдать рост потребления углей различной степени метаморфизма. Большая доля угля, добываемого на данный момент,

обогащается. Например, в Австралии и ЮАР обогащается 100 % угля, а в среднем в мире проходит обогащение около 80 % угля от объемов добычи. В результате чего каждый год образуется множество высокозольных отходов, залежи которых составляют миллионы тонн, а с ростом темпов добычи угля и доли обогащаемого угля этот показатель будет только расти.

Объемы продуктов и отходов переработки нефтей, отработанных горючих жидкостей (трансформаторных, турбинных, моторных, машинных масел), низкосортных нефтей также исчисляются миллионами тонн в год. География регионов, заинтересованных в их утилизации, очень широкая (Европа, Азия, Африка, Южная и Северная Америка). Также особый интерес утилизация таких продуктов актуален для районов Кузбасса, где уже действуют котлы на ОВУТ в тестовом режиме.

В последние годы выполнено несколько экспериментальных исследований (например, [8–12, 22]) процессов сжигания капель суспензий ОВУТ на основе углей, отработанных масел и водонефтяных эмульсий. Показано [8–12, 22], что суспензии ОВУТ могут быть использованы в качестве основных топлив для многих энергетических установок. Однако в качестве основных компонентов ОВУТ в экспериментах [10–12] использованы лишь высокосортные угли разной степени метаморфизма. Так как большая часть таких углей активно экспортируется развитыми государствами (например, Китай, США, Индия, Россия), то целесообразно при приготовлении ОВУТ использовать отходы переработки и обогащения этих углей (например, фильтр-кек). Объемы последних к 2020 году могут вырасти в несколько раз [23]. Актуальна задача создания ОВУТ на основе фильтр-кек с добавлением отработанных масел разного происхождения. Важно определить, как могут влиять наиболее типичные компоненты таких топливных суспензий на их основные характеристики (стабильность, вязкость, теплота сгорания, инерционность зажигания, длительность горения и другие). Так как достоверных экспериментальных данных о процессах зажигания и горения ОВУТ с разными компонентными составами пока

опубликовано очень мало (для условий низкотемпературного (менее 800 K) [24–26] зажигания нет данных), то целесообразно для получения соответствующей базы данных провести эксперименты с разными фильтр-кек и отходами нефтехимического происхождения. При этом для расширения возможных приложений результатов исследований условия нагрева топлив следует рассмотреть от низкотемпературных [24–26] до соответствующих (более 1200 K) современных энергетических установкам, блокам и агрегатам.

Автоматизированная система топливоприготовления предназначена для подготовки твердого топлива (угольной пыли) путем его измельчения, с дальнейшей подачей его в систему топливоподачи, при использовании жидкого топлива (мазут), топливо предварительно проходит фильтрацию, а затем из него удаляются сгустки. Именно подготовка однородной смеси из исходных компонентов является одним из наиболее сложных технологических процессов систем топливоприготовления. Процессы приготовления, транспортирования ОВУТ находятся на начальном этапе исследований [27–30]. Теоретические основы соответствующих технологий до настоящего времени не разработаны. На данный момент в тестовом режиме работают системы топливоприготовления в Кузбассе. Кек в котельную привозится саморазгружающимся грузовым автомобилем и разгружается в приемную емкость, оборудованную перемешивающим устройством в виде шнека с электрическим приводом. В приемной емкости кек перемешивается с добавлением небольшого количества воды (при необходимости) и реагента-пластификатора до получения необходимой текучести топлива. После перемешивания кек в приемной емкости и получения готового для сжигания водоугольного топлива (ВУТ), оно из приемной емкости перекачивается активатором в расходную емкость. Проходя активатор ВУТ подвергается дополнительной обработке и гомогенизируется до однородного состава.

Одна из ключевых проблем приготовления такого вида топлива – это крупные частицы в топливе (сгустки). Для удаления из топлива сгустков

перед подачей его в расходную емкость предусмотрено его пропускание через вибросито. Отделение крупных не разбитых частиц топлива позволяет предупредить забивание тракта топливоподачи. Для длительного хранения топлива без расслоения в нижнюю часть расходной емкости по периметру подается сжатый воздух, производимый винтовым компрессором, который, барботируя через слой топлива, обеспечивает его активное перемешивание.

В условиях лаборатории органоводоугольное топливо можно приготовить с помощью диспергатора (гомогенизатора), например, MPW-302. Водомасляная эмульсия подготавливается на первом этапе. Компоненты ОВУТ, в соответствии с необходимыми концентрациями добавляются в стакан гомогенизатора после взвешивания на аналитических весах. Компоненты эмульсии смешиваются 3...4 минуты, после чего в рабочий стакан добавляется кек, аналогично в соответствии с необходимой его концентрацией в топливной суспензии.

В рамках данной работы предстояло выполнить экспериментальное исследование энергетических характеристик ОВУТ, полученных на основе фильтр-кек каменных углей и отработанных масел, а также определение свойств и концентраций основных компонентов для энергоэффективного сжигания и приготовления таких топливных композиций в энергетических установках. На основе полученных экспериментальных данных необходимо было спроектировать автоматизированную систему управления процессом приготовления топлива в форме органоводоугольных суспензий.

В Томском политехническом университете проводятся исследования процессов приготовления и сжигания ОВУТ на основе промышленных отходов. Рассматривается множество органоводоугольных топлив, а также процессы, которые происходят при горении такого вида топлива, также принимается во внимание способ приготовления ОВУТ, который, судя по экспериментам [31], оказывает влияние на процесс горения и зажигания топлива.

Органоводоугольное топливо – перспективный источник тепловой и электрической энергии для населения, имеющий не высокую стоимость по сравнению с традиционными топливами (газом, углем, мазутом), а также возможность утилизации отходов нефтепродуктов и углеобогачительных фабрик. Рассматривая указанные выше преимущества такого вида топлива, можно сказать о том, что его использование будет выгодно сразу нескольким отдельно взятым потребителям. Жители квартир, частных домов с центральным отоплением, школы, детские сады, муниципальные учреждения, и другие конечные потребители тепловой и электрической энергии заинтересованы в снижении стоимости услуг ЖКХ, а значит, использование на тепловых станциях органоводоугольного топлива имеет большую перспективу.

Как правило, для большинства стран с развитым сырьевым сектором экономики (в первую очередь из-за добычи твердых топлив) характерна тенденция, когда регионы, в которых ведется добыча твердых топлив, окружают другие регионы с высоким уровнем промышленного и социального развития. Такое соседство создает благоприятные условия, с одной стороны, для увеличения объемов добычи угля, с другой стороны, для развития промышленных предприятий и, соответственно, увеличения численности населения. В таких условиях для регионов с развитым сырьевым сектором экономики, например, за счет добычи и экспорта угля, одной из основных проблем является снижение негативного воздействия углеобогачительных фабрик за счет складирования фильтрата на открытых полигонах на окружающую среду.

Для комплексного решения этих проблем перспективным направлением является реализация соседними регионами общей стратегии совместной утилизации промышленных отходов путем сжигания в составе органоводоугольных топлив на местных тепловых электрических станциях.

1 Экспериментальные исследования

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, натурных испытаний, промышленного внедрения и опытной эксплуатации водоугольных и органоводоугольных технологий в течение последних 30 лет показали большую выгоду для человечества [3, 6, 19, 32, 33].

Во-первых, важен экономический эффект, заключающийся в расширении сырьевой энергетической базы за счет вовлечения низкосортных углей и многочисленных отходов угле – и нефтепереработки. Во-вторых, в последние годы выделены и энергетические преимущества ВУТ и ОВУТ по сравнению с традиционным пылевидным угольным топливом. Эти преимущества заключаются в основном в низкотемпературном (можно снизить температуру зажигания на 100...200 К) зажигании топлив и снижении пожарной опасности, свойственной процессам подготовки и транспортировки высокореакционной угольной пыли на энергетических предприятиях.

Анализ исследований мирового научного сообщества (в частности, публикаций [33–35]) показывает, что основными компонентами ОВУТ и ВУТ может выступать довольно большая группа веществ. Твердые горючие компоненты: угли разных марок (древесный, бурый, каменный, антрацит), продукты и отходы углепереработки и углеобогащения.

Одной из основных проблем при использовании ВУТ и ОВУТ является меньшее тепловыделение по сравнению с традиционными угольными топливами. Это обусловлено главным образом тем, что в ОВУТ и ВУТ используются низкосортные угли или отходы переработки. Представляет интерес экспериментальное определение механизмов, позволяющих повысить тепловыделение при работе с ВУТ и ОВУТ. Проводить такие исследования на реально действующих энергетических установках затруднительно вследствие больших материальных расходов и сложности контроля влияния только одного или двух факторов (неизбежны

многофакторные эксперименты, которые затрудняют понимание соответствующих процессов и исследованных эффектов). Целесообразны лабораторные экспериментальные исследования влияния группы основных параметров на температуру горения ОБУТ с типичными компонентными составами. Наиболее широко распространенным принято считать подход, основанный на подвешивании одиночной капли (частицы) ВУТ или ОБУТ на спале малоинерционной термопары или керамических нитях (стержнях или проволочках). Основным преимуществом такого подхода является обеспечение возможности контроля температуры образца (капли или частицы) топлива и условий его стадийного горения.

Актуально на примере одиночной капли выполнить экспериментальный анализ максимальных температур горения ОБУТ при варьировании основных параметров процессов зажигания: температуры, размеров капли топлива, компонентного состава последнего.

В качестве твердых горючих компонентов ОБУТ применялись типичные отходы углепереработки – фильтр-кек (на основе каменных углей марок К, Д). Данные отходы образуются на углеобогащительных фабриках. В результате технологического процесса угольная порода промывается водой с применением поверхностно-активных веществ. В дальнейшем происходит разделение угля по фракциям на грохотах. Вода, использованная для промывки породы, подается в специальные емкости, где происходит осаждение частиц угля. Водугольная суспензия откачивается и пропускается через ленточные пресс-фильтры для отжима воды. Влажный остаток (смесь воды и угля) представляет собой кек. Средний размер частиц угольной пыли в кек составлял не более 100 мкм. Такой размер частиц типичен для флотационных отходов и связан тем, что в промышленности наиболее востребованным и широко распространенным помолом обогащенных углей является диапазон 50...100 мкм. В таблицах 1 и 2 приведены результаты технического и элементного анализа кек. В таблице 3

представлены: доля воды в исходном состоянии кек (т.е. при получении на углеобогачительных фабриках), а также измеренная теплота сгорания.

Таблица 1 – Результаты технического анализа образцов кек (в сухом состоянии)

Кек каменного угля	Зольность, %	Выход летучих веществ, %	Теплота сгорания, МДж/кг
марка К	26,46	23,08	24,83
марка Д	36,99	41,47	19,24

Таблица 2 – Результаты анализа элементного состава кек (в сухом состоянии)

Кек каменного угля	Содержание углерода, %
марка К	87,20
марка Д	73,27

Таблица 3 – Результаты анализа характеристик кек в исходном (влажном) состоянии

Кек каменного угля в исходном (влажном) состоянии	Массовая доля сухого вещества, %	Теплота сгорания, МДж/кг
марка К	56,5	14,1
марка Д	43,2	8,3

В качестве жидких горючих компонентов ОВУТ применялось отработанное масло турбинное. В таблице 4 приведены результаты его технического анализа.

Таблица 4 – Результаты анализа характеристик жидкого горючего компонента

Название компонента	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Зольность, %	Температура вспышки, К	Температура зажигания, К	Теплота сгорания, МДж/кг
Отработанное турбинное	868	—	0,03	448	466	45,1

Для повышения стабильности (уменьшения эффекта расслоения) топливных композиций в составе ОВУТ использовался пластификатор Неолас (см. таблицу 5).

Таблица 5 – Основные характеристики пластификатора

Показатель	Значение
Внешний вид	Бесцветная жидкость
Содержание ПАВ, %	25
рН раствора	6,5
Плотность при 293 К, кг/м ³	954

Методика оценки сегментарной стабильности топливных суспензий аналогична использованной в опытах [36]. Применялся метод изучения расслоения, заключающийся в измерении объема слоя отделившейся временной водяной или водомасляной связки от основной массы при ее хранении и транспортировке. Наблюдение за процессом расслоения образцов проводилось с помощью мерных цилиндров емкостью 50 мл с ценой деления 1 мл. Испытуемые образцы топлив заливались в мерные цилиндры в объеме 50 мл. После выдержки времени в один час визуально определялся объем отделившейся (более прозрачной после просвечивания прожектором) связки (V_c). Показатель устойчивости Y_I вычислялся относительно начального объема топлива V_0 по формуле: $Y_I = V_c / V_0$. Считалось, что композиция органоводоугольного топлива расслоилась при достижении величины Y_I значения 0,05. Аналогичные методики определения длительности сохранения структурной стабильности топлив применялись в работах [31, 37, 38]. Основное отличие настоящей работы заключается в том, что в опытах [31, 37, 38] контроль проводился не по объему, а по высоте отделившейся связки (параметр Y_I вычислялся, как отношение соответствующих высот).

Установлено, что все топливные композиции сохраняют сегментарную стабильность в течение как минимум 6 дней. Поэтому принято

решение проводить исследования со всеми композициями в течение времени, не превышающего 5 дней со дня приготовления ОВУТ.

Приготовление ОВУТ проводилось с использованием гомогенизатора (диспергатора) MPW-302. В соответствии с рекомендациями [31, 37, 38] на первом этапе подготавливалась водомасляная эмульсия. Компоненты (в соответствии с требуемой относительной массовой концентрацией вводились вода и масло или другая горючая жидкость) добавлялись в гомогенизатор после предварительного взвешивания весами. Длительность процесса смешения компонентов водомасляной эмульсии составляла от 3 до 4 минут. Затем в стакан гомогенизатора с подготовленной эмульсией вводился кек. Длительность этого этапа процесса подготовки топливной суспензии составила от 8 до 10 минут. В среднем относительная массовая концентрация твердого горючего компонента изменялась от 30 до 60 %, воды – от 40 до 70 %, жидкого горючего компонента от 5 до 25 %, пластификатора – 0,5 %.

Схема стенда приведена на рисунке 3. В экспериментальном стенде можно выделить несколько характерных блоков и узлов: формирования потока разогретого окислителя, помещения капли топлива в камеру сгорания и контроля интегральных характеристик процессов горения.

Генерация капель ОВУТ выполнялась электронным дозатором Finnpiptette Novus (минимальный и максимальный дозируемые объемы – 10^{-6} дм³ и $10 \cdot 10^{-6}$ дм³, шаг варьирования – $0,1 \cdot 10^{-6}$ дм³. С использованием высокоскоростной камеры 10 (рисунок 3) Phantom Miro M310 и программного обеспечения Tema Automotive [39] определялся размер (радиус) капель органоводоугольного топлива. По среднему значению определялся радиус капли R_d . Систематическая погрешность определения R_d с соответствующими разрешениями видеокамеры не превышала 4 %. Начальные размеры капель изменялись в диапазоне от 0,5 до 2 мм.

контроля скорости движения окислителя V_g при высоких температурах T_g применение анемометра невозможно. Поэтому аналогично опытам [31, 37, 38] применялся панорамный оптический метод PIV. Объемная концентрация кислорода в воздухе (после прохождения нагревателя) определялась при помощи газоанализатора Testo 340. В широких диапазонах варьирования значений скорости движения и температуры потока воздуха концентрация окислителя составляла около 20,5 %.

Капля ОВУТ с известным R_d после генерации дозатором подвешивались на спай малоинерционной термопары 5 (рисунок 3). Использовалась платина-платинородиевая термопара (диапазон измеряемых температур от 273 до 1873 К, инерционность не более 1 с). Измерялась температура T_d на границе “спай термопары – капля ОВУТ”. В первом приближении значение T_d можно считать температурой в центре капли. В каждом эксперименте контролировался процесс обволакивания спая термопары 5 пленкой ОВУТ. Допускаемое отклонение по толщине пленки относительно среднего значения принималось не более 10 %. Координатный механизм 8 (рисунок 3) перемещал термопару 5 с подвешенной на ее спае каплей ОВУТ в цилиндр 1. Скорость движения не превышала 0,5 м/с. Это обусловлено требованиями сохранения целостности капли, ее начального размера и положения на термопаре в процессе ввода в поток разогретого воздуха. Вторая аналогичная термопара использовалась для измерения температуры поверхности капли T_s . Во всех проведенных опытах эта термопара закреплялась таким образом, чтобы измерялась температура поверхности капли топлива со стороны натекающего потока окислителя.

В проведенных экспериментах регистрировались следующие параметры: температура T_g и скорость движения V_g потока воздуха, температура на границе “спай термопары – капля топлива” T_d , температура поверхности капли топлива T_s , начальный размер R_d капли, время задержки зажигания τ_d , время полного сгорания τ_c . Параметр τ_d представлял время с момента ввода капли 9 в канал цилиндра 1 до выполнения критерия

зажигания, заключающегося в одновременном удовлетворении условий [36, 37]: $T_d > T_g$ и $dT_d/d\tau > 10$ К/с. Параметр τ_c – время от момента ввода капли топлива в поток окислителя (рисунок 3) до полного выгорания образца, которое характеризовалось отклонением T_d относительно установившегося значения (при $\tau \rightarrow \infty$) не более чем на $0,05 \cdot T_d^{max}$ (T_d^{max} – максимальная температура капли в течение процесса горения). Методики оценки систематических и случайных погрешностей определения основных параметров в проведенных экспериментах аналогичны описанным в [31, 37, 38]. Для обеспечения удовлетворительной повторяемости результатов экспериментов проводилось 6...8 опытов при идентичных условиях.

Эксперимент включал следующие стадии:

1) капля приготовленного топлива генерировалась дозатором и помещалась на спай термопары;

2) с применением координатного механизма капля ОБУТ перемещалась в камеру сгорания (цилиндр со специализированными технологическими отверстиями);

3) за счет непрерывной видеосъемки на входе в камеру сгорания фиксировались видеокадры, с применением которых определялся начальный радиус капли R_d , а также начинался отсчет времени задержки зажигания и полного сгорания топлива;

4) после торможения координатного с помещением капли на оси симметрии цилиндра начиналась регистрация температуры топлива тепловизором (проводилась мультисъемка с частотой 10 кадров в секунду), за счет непрерывной регистрации температур T_d и T_s на термопарах обеспечивался контроль температуры поверхности и в центре капли топлива;

5) после выполнения критерия зажигания $T_d > T_g$ и $dT_d/d\tau > 10$ К/с видеокамерой фиксировалось значение τ_d ;

6) после выполнения критерия полного сгорания топлива $T_d = T_g \pm 0,05 T_d^{max}$ видеокамерой фиксировалось значение τ_c ;

7) затем спай термопары с зольным остатком вынимался координатным механизмом из камеры сгорания, очищался, охлаждался до температуры 300 К;

8) тренды температуры автоматически сохранялись на регистраторе, который синхронизировался с персональным компьютером, с применением которого регистрировались тренды, соответствующие стадиям зажигания топлива и определялись максимальные значения температуры топлива T_d^{max} .

Основными результатами проведенных экспериментов являлись минимальные температуры, при которых зажигается топливо (рисунок 4), максимальные температуры горения ОВУТ (рисунок 5), а также время стабильности составов, (органоводоугольных топлив), которые приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Стабильность исследованных составов ОВУТ

Концентрации компонентов ОВУТ	Стабильность, суток
89,5 % кек “К”, 10 % отработанное турбинное масло, 0,5 % пластификатор	7
89,5 % кек “Д”, 10 % отработанное турбинное масло, 0,5 % пластификатор	7

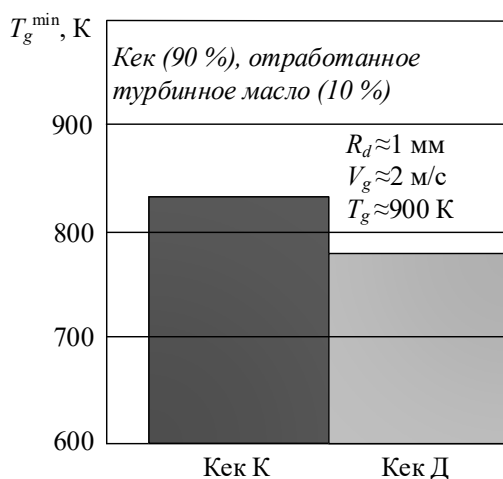


Рисунок 4 – Минимальные температуры зажигания органоводоугольных топлив для различных фильтр-кек с отработанным турбинным маслом (10 %) при скорости воздушного потока $V_g=2$ м/с и радиусе каплей $R_d=1$ мм

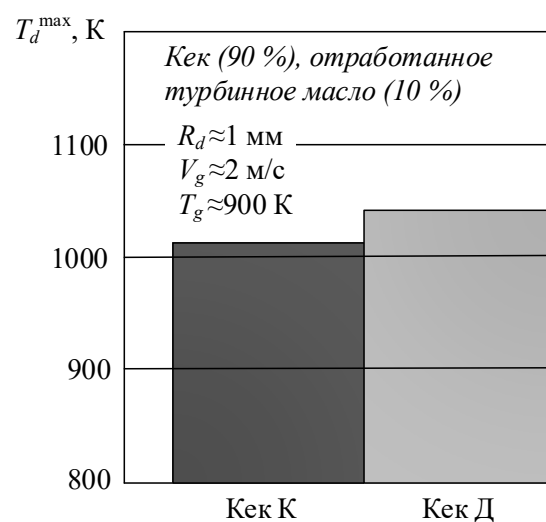


Рисунок 5 – Максимальные температуры горения органоугольных топлив для различных фильтр-кек с отработанным турбинным маслом (10 %) при скорости воздушного потока $V_g=2 \text{ м/с}$ и радиусе каплей $R_d=1 \text{ мм}$

2 Проектирование АСУ топливоприготовления

2.1 Анализ объекта автоматизации

В данной работе в качестве объекта автоматизации выбрана система топливоприготовления для котельного агрегата НР-18 мощностью 0,8 МВт, который предназначен для снабжения тепловой энергией различных зданий и сооружений. Поперечный разрез котла НР-18 представлен на рисунке 6 [40].

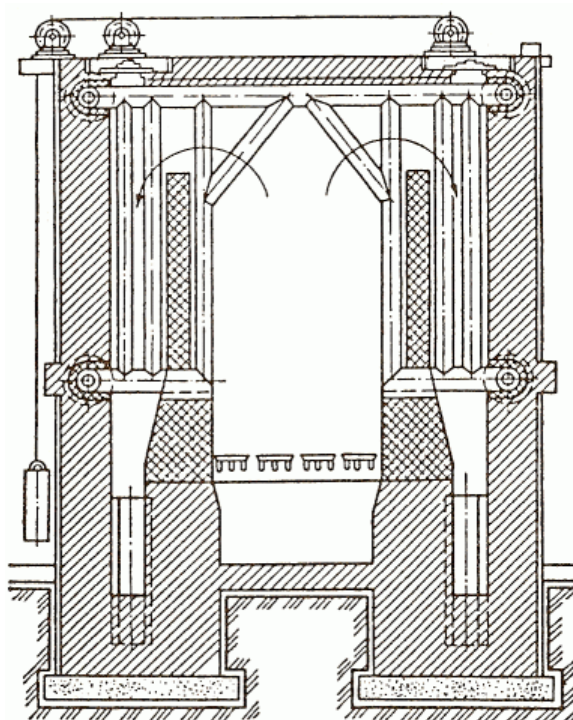


Рисунок 6 – Поперечный разрез котла НР-18 с пакетом из прямых труб

Суспензии водоугольного топлива (ВУТ) и органоводоугольного топлива (ОВУТ) являются жидким топливом и имеют вязкость, превышающую вязкость мазута: примерно $800...1000 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ по сравнению с $400...440 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ (до $44 \text{ мм}^2/\text{с}$) у мазута. Соответственно, в первом приближении можно использовать для проектирования системы топливоприготовления органоводоугольного топлива существующие системы топливоприготовления, разработанные для мазута.

На рисунке 7 [16] представлена схема приготовления жидкого топлива перед его сжиганием. Для приготовления мазута к сжиганию из него удаляются мелкие твердые фракции и волокна (фильтрование), также он нагревается в паровых теплообменниках до температуры $100...150\text{ }^{\circ}\text{C}$, при которой мазут легко течет и распыляется до мельчайших капель в горелке. Транспорт мазута из баков обеспечивается двумя группами насосов (давление до 4 МПа) к горелкам парового котла. Первая группа насосов прокачивает мазут через установки нагрева и очистки, вторая – подает его по трубопроводу в котельное отделение. Для поддержания текучести мазута ($70...80\text{ }^{\circ}\text{C}$) в баки постоянно поступает подогретый мазут, а также возвращается избыточный мазут от котлов.

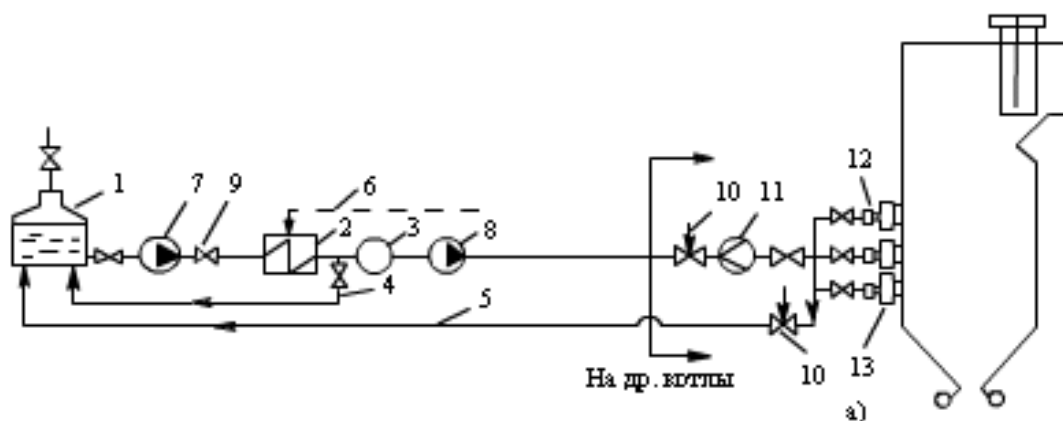


Рисунок 7 – Технологическая схема подготовки к сжиганию жидкого топлива:

- 1 – мазутохранилище; 2 – паровой теплообменник; 3 – фильтр;
- 4, 5 – линии рециркуляции мазута; 6 – подвод пара к теплообменнику;
- 7, 8 – насосы первой и второй ступеней давления; 9 – обратный клапан;
- 10 – регулятор расхода; 11 – измеритель расхода; 12 – ствол мазутной форсунки; 13 – горелка

На основе технологической схемы топливоприготовления мазута составим схему для приготовления органоводоугольного топлива на основе отхода обогащения угля (фильтр-кек) для его последующего сжигания в котельном агрегате, представленную на рисунке 8.

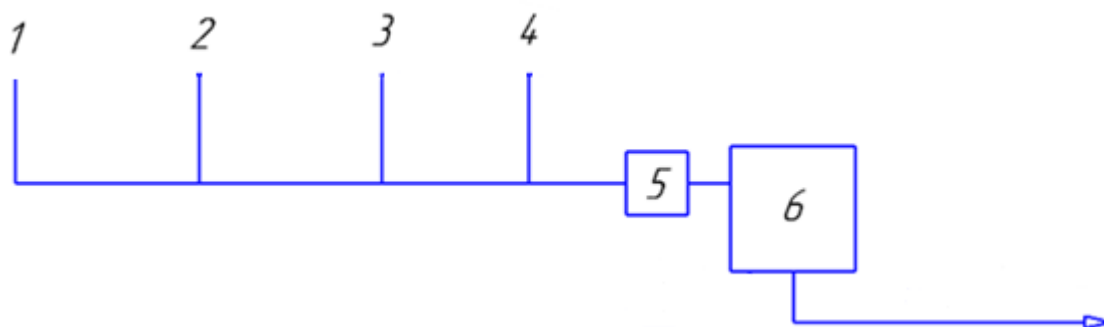


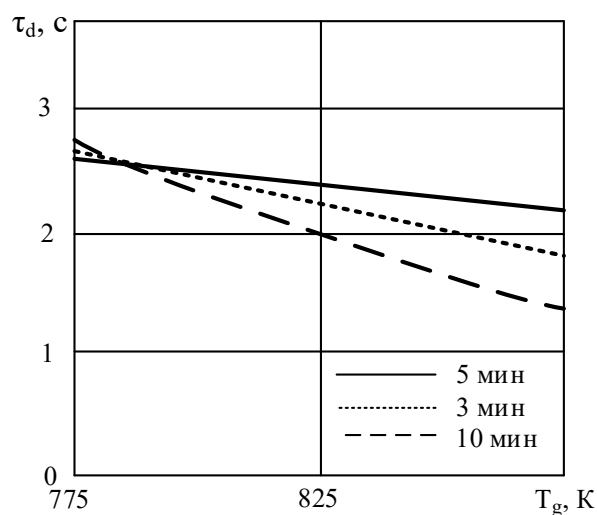
Рисунок 8 – Схема установки топливоприготовления ОВУТ:

1 – магистраль подачи фильтр-кек К, 2 – магистраль подачи фильтр-кек Д, 3 – магистраль подачи трансформаторного масла, 4 – магистраль подачи пластификатора, 5 – насос, 6 – кавитационная камера (емкость для готового ОВУТ)

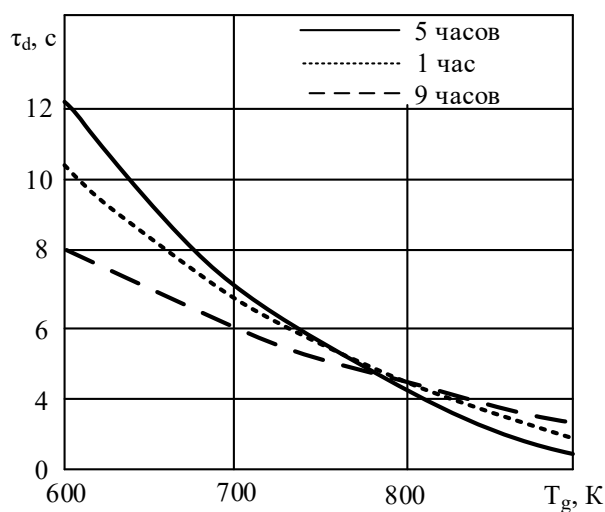
При приготовлении топлива такие параметры ОВУТ, как соотношение жидкая фракция/твердая фракция, тонина помола, а также вязкость ОВУТ, должны быть как можно ближе к расчетным значениям с целью сохранения высоких эксплуатационных характеристик котла (КПД, количество выбросов и др.), а также стабильного воспламенения и горения ОВУТ в топке.

На свойства топлива в виде органоводоугольных суспензий влияет помимо компонентного состава еще и длительность приготовления (перемешивания в гомогенизаторе) топливной композиции. Время приготовления составов ОВУТ с использованием современного оборудования (в нашем случае – гомогенизатора) влияет на свойства приготавливаемых топлив.

На рисунке 9 представлены времена задержки зажигания капель органоводоугольного топлива при изменении длительности процесса приготовления от нескольких минут до нескольких часов.



а)



б)

Рисунок 9 – Времена τ_d задержки зажигания капли ОВУТ, в зависимости от температуры T_g окислителя при различной длительности приготовления состава: а – несколько минут (94 % фильтр-кек К (влажный), 5 % автомобильное масло отработанное, 1 % пластификатор); б – несколько часов (54 % каменный уголь марки Т, 40 % вода, 5 % трансформаторное масло отработанное, 1 % пластификатор), при радиусе капли ОВУТ – 1 мм

Результаты, приведенные на рисунке 9 [41], иллюстрируют, что при смешении топлива в течение нескольких минут (от 3 до 10 мин) влияние времени приготовления композиции на время задержки зажигания значительно. Минимальной достаточной длительностью исследуемого

процесса в соответствии с результатами проведенных экспериментов [41] следует считать продолжительность около 10 минут.

Данные на рисунке 9 свидетельствуют о том, что существует некоторое оптимальное (с точки зрения характеристик получаемых топлив и затрат на подготовку) время для приготовления топлива. В работе [41] сделано заключение о достаточности длительности работы систем топливоприготовления с ОВУТ не больше 1 часа. В частности, если топливо планируется сжигать при высоких (более 900 К) температурах окислителя.

Регулирование теплоты сгорания, а также уровня приготовленного топлива в виде органоводоугольной суспензии осуществляется с помощью изменения расхода компонентов этой суспензии.

На основании описанных свойств и параметров котлоагрегата проведём разработку структуры АСУ.

2.2 Разработка структуры комплекса технических средств АСУ

Даже из малого числа компонентов органоводоугольных топлив можно получить большое количество различных топливных суспензий с различными содержаниями того или иного компонента (кек, отработанного турбинного или трансформаторного масла). Каждое из этих топлив может характеризоваться множеством показателей, в том числе временами задержки зажигания, теплотой сгорания, временами полного сгорания.

Теплота сгорания топлива является одной из основных величин, определяющих эффективность котельного агрегата, поэтому примем схему регулирования расхода компонентов органоводоугольного топлива относительно теплоты сгорания готового топлива. Органическая составляющая водоугольной суспензии, а именно: отработанное турбинное и трансформаторное масла имеют бóльшую теплоту сгорания, в сравнении с кек, поэтому, изменяя расход этих компонентов, можно также изменять получаемую теплоту сгорания готового топлива, которая будет сравниваться с заданным значением, которые рассчитаны по объемной концентрации всех входящих в состав топлива компонентов:

$$Q_m = \gamma_1 \cdot Q_1 + \gamma_2 \cdot Q_2 + \gamma_3 \cdot Q_3 + \dots + \gamma_n \cdot Q_n, \quad (3.1)$$

где γ_n – объемная концентрация n-ого компонента, %;

Q_n – удельная теплота сгорания n-ого компонента, МДж/кг.

На основании технологической схемы подготовки к сжиганию жидкого топлива (рисунок 7) разработана схема автоматизированной системы управления расходом компонентов органоводоугольного топлива имеющая вид, представленный на рисунке 10.

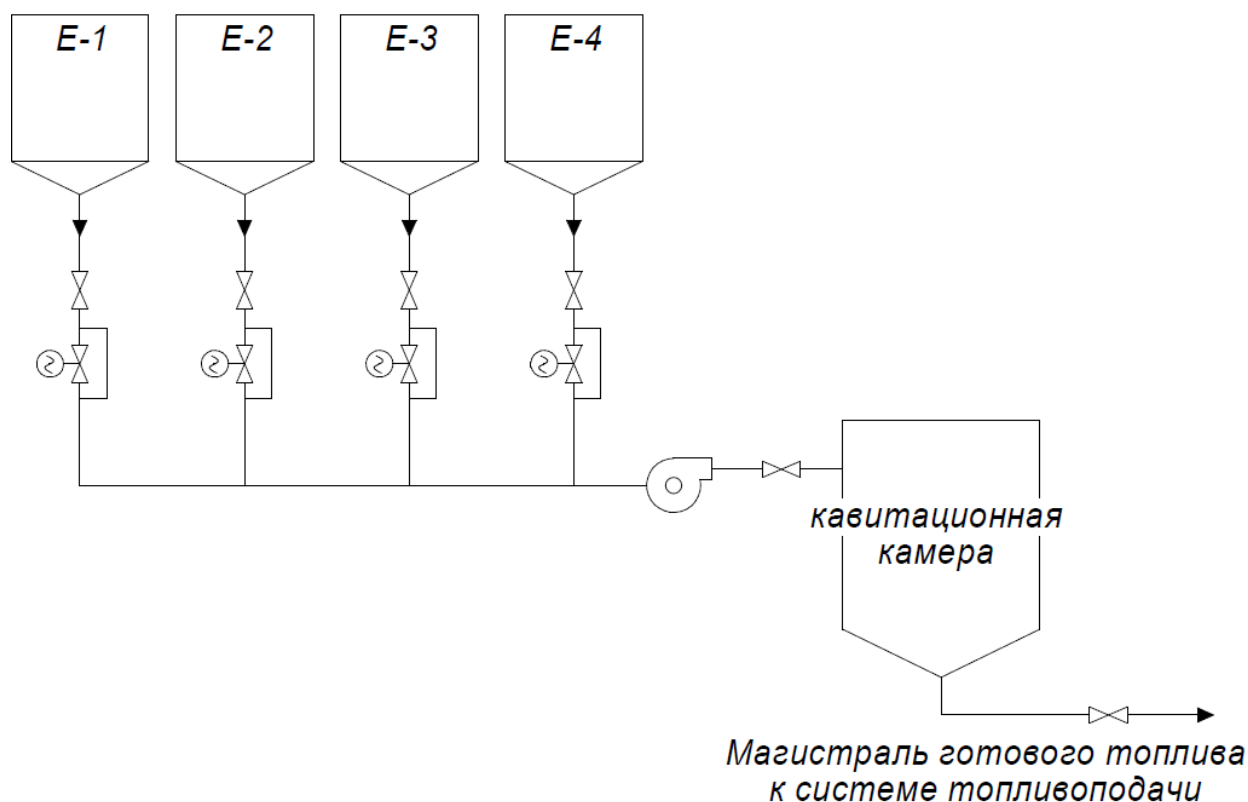


Рисунок 10 – Схема системы автоматизированного управления расходом топлива в виде органоводоугольных суспензий: E-1 – емкость с фильтр-кек К; E-2 – емкость с фильтр-кек Д; E-3 – емкость с отработанным турбинным маслом; E-4 – емкость с пластификатором

На основании схемы системы автоматизированного управления процессом топливоприготовления также разработана структура АСУ ТП приготовления органоводоугольного топлива, представленная на рисунке 11.

Цель автоматизированного управления для такой схемы состоит в поддержании теплоты сгорания (с допусаемым отклонением) приготовленного топлива на заданном значении, а также необходимого уровня (с допусаемым отклонением) в кавитационной камере при помощи изменения величин расходов компонентов органоводоугольного топлива положением регулирующих органов.

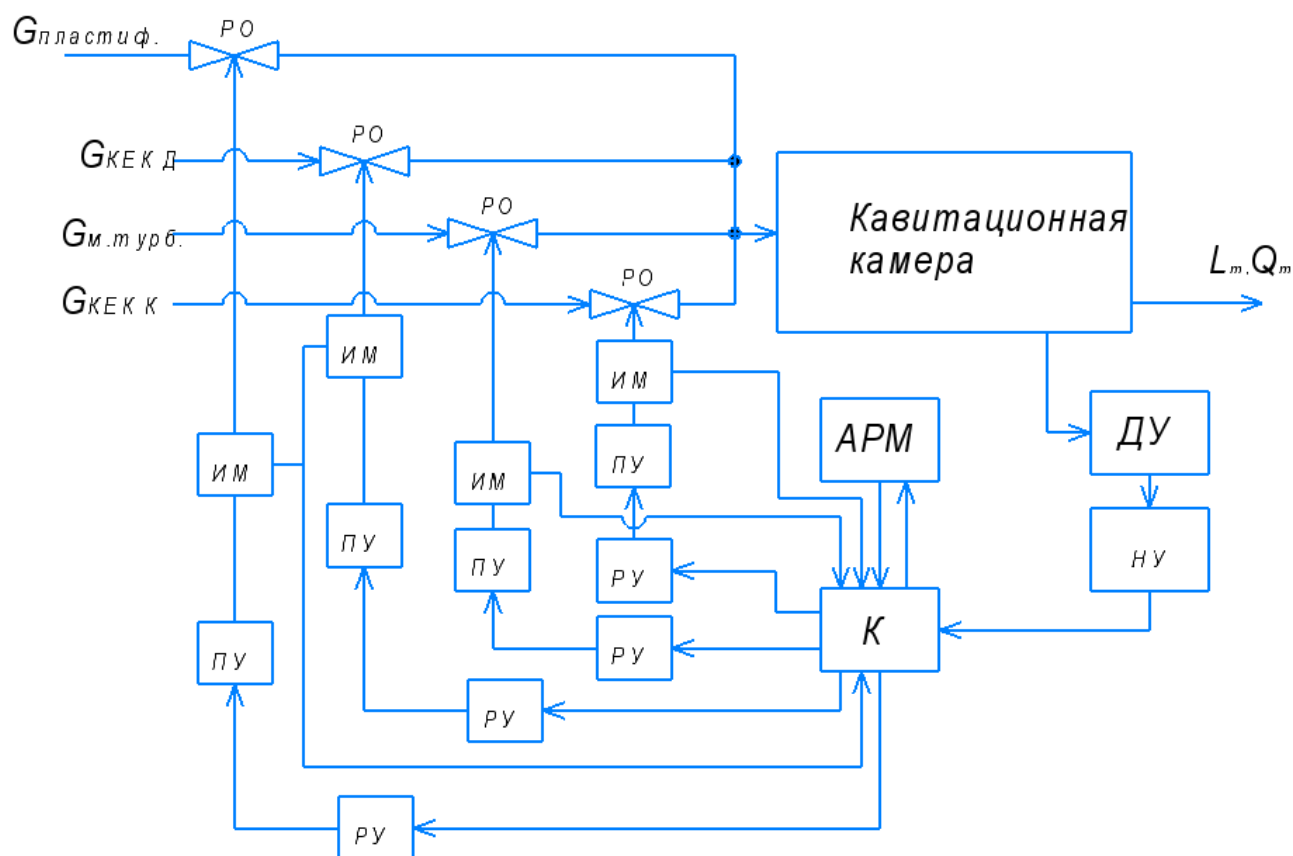


Рисунок 11 – Структура автоматизированной системы приготовления

органоводугольного топлива: ДУ – датчик уровня,

НУ – нормирующее устройство, К – контроллер, ЗУ – задающее устройство,

РУ – устройство ручного управления, ПУ – пусковое устройство,

ИМ – исполнительный механизм, РО – регулирующий орган, $G_{\text{КЕК Д}}$ – расход фильтр-кек Д, $G_{\text{м.турб.}}$ – расход турбинного масла, $G_{\text{КЕК К}}$ – расход фильтр-кек

К, Q_T – теплота сгорания готового топлива, L_T – уровень готового топлива

Теплота сгорания оценивается на основании расхода компонентов (величин открытия соответствующих регулирующих органов, установленных на емкостях с различными компонентами топлива). Значение текущей теплоты сгорания вычисляется на прикладном программном обеспечении программируемого логического контроллера. На основании разности расчетного и заданного с АРМ оператора значений управляющее воздействие подается на регулирующие органы. Если регулируемая величина равна заданному значению (с учетом мертвой зоны, внутри которой система не

выполняет регулирование), то АСУ находится в состоянии равновесия. При отклонении теплоты сгорания от заданного оператором значения равновесие системы нарушается, клапаны (регулирующие устройства) приходят в действие, возникает процесс регулирования. Регулирующие устройства подают выработанное управляющее воздействие на устройства ручного управления, которые осуществляют ручное переключение с автоматического режима управления на ручной. Также при увеличении потребления готового топлива системой топливоподачи, осуществляется пропорциональное увеличение расходов компонентов с целью возрастания уровня в кавитационной камере до регламентного значения. На выходе исполнительного механизма вырабатывается регулирующее воздействие, передаваемое через регулирующий орган РО на вход объекта. Регулирующее воздействие направлено на уменьшение рассогласования между действительным и заданным значениями регулируемой величины. Регулятор будет воздействовать на объект до тех пор, пока регулируемая величина не сравняется с заданным значением с учетом мертвой зоны.

АСУ ТП приготовления органоводоугольных суспензий должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) построена на основе микропроцессорных устройств, современного оборудования;
- 2) питание должно осуществляться от сети 220/380 В;
- 3) Структура системы должна быть многоуровневой, иерархической, в которой отказ одного компонента системы не приводит к аварийной ситуации;
- 4) обеспечивать безопасное протекание технологического процесса;
- 5) в случае нештатных ситуаций оборудование должно быть переведено в безопасное состояние (противоаварийная защита);
- 6) предоставление достаточного объема информации оперативному персоналу в наглядном виде (информационная функция) в целях обеспечения безопасного и эффективного управления процессом (функция управления);

7) обеспечение формирования отчетов о ходе протекания процесса за выбранный промежуток времени (вспомогательная функция);

8) для реализации задач АСУ должно использоваться специализированное программное обеспечение, функционирующее в среде многозадачной операционной системы.

9) автоматизированная система управления должна обеспечивать работу в режиме – 24 часов в день, 7 дней в неделю (24x7), а также выполнение своих функций, таких как: сбор, обработка и загрузка данных, хранение данных, предоставление отчетности, осуществление перевода технологического процесса в безопасное состояние при возникновении необходимости;

10) прикладное программное обеспечение АСУТП должно обеспечить реализацию необходимых алгоритмов контроля, регулирования и защиты, отображения информации, сигнализации и архивирования данных (при необходимости).

11) алгоритмы управления должны иметь возможность переконфигурирования, и реализовываться через библиотечные блочные структуры.

2.3 Разработка функциональной схемы АСУ расходом топлива

Информация о ходе технологического процесса и о состоянии оборудования передается в систему управления с датчиков, а также с измерительных систем.

Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность вспомогательного и основного оборудования вместе с встроенными в него регулирующими и запорными органами, а также энергии, сырья и других материалов, определяемых особенностями используемой технологии. В данном случае основной системой является система приготовления органоводоугольного топлива, а также система подачи органоводоугольного топлива в топку котельного агрегата.

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов должны быть решены задачи:

- контроль технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования, а также их регистрация;
- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- выбор технических средств автоматизации;
- стабилизация технологических параметров процесса.

Технологическое оборудование при проектировании функциональной схемы изображаются, как правило, упрощенно, без указания вспомогательных трубопроводов. Но, несмотря на это, представленная таким образом схема дает ясное представление о взаимодействии ПЛК со средствами автоматизации и работы системы в целом. На трубопроводах показывают только арматуру, непосредственно участвующую в технологическом процессе. Разрабатываемая функциональная схема должна соблюдать требования ГОСТ 21.208-2013 «Система проектной документации

для строительства (СПДС). Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах».

Функциональная схема автоматизированной системы регулирования расхода органоводоугольного топлива представлена на листе ФЮРА.421000.007 С2.

На функциональной схеме автоматизированной системы регулирования расхода компонентов органоводоугольного топлива, а также уровня готового топлива, представлены измерительные каналы, каналы управления. Также в нижней части схемы отображаются регулирующие воздействия и условия, при которых они возникают. Перечень таких воздействий содержит в себе алгоритмы по предотвращению выхода из строя оборудования, а также по недопущению возникновения аварийных ситуаций на производстве по причине выхода регулируемых параметров технологического процесса из рабочих диапазонов.

На первом этапе разработки функциональной схемы определялись измерительные каналы и каналы управления. Измерительный канал 5, посредством уровнемера, формирует сигнал о текущей величине уровня приготовленного органоводоугольного топлива, который сравнивается с установленным уровнем, который системе необходимо поддерживать с учетом зоны нечувствительности. Измерительный канал 7 преобразует значение температуры подшипника двигателя насоса при помощи первичного преобразователя, значения поступают к регулирующему устройству в виде унифицированного токового сигнала. Программируемый логический контроллер формирует регулирующий сигнал, поступающий на соответствующее пусковое устройство каждой из задвижек КР1...КР4, где сигнал усиливается, а затем приводит в действие привод необходимого исполнительного механизма. Для контроля уровня в баках компонентов органоводоугольного топлива установлено три сигнализатора уровня, с одинаковыми характеристиками, которые передают сигнал о низком уровне в баке соответствующего компонента на ПЛК. Схема предполагает несколько

способов управления исполнительным механизмом, а именно: местное управление от штурвала, дистанционное управление через промышленный компьютер и основной автоматический режим управления от контроллера.

В нижней части чертежа изображались приборы, установленные по месту, а также щит управления. В щите управления установлен контроллер. Данная часть функциональной схеме наглядно отображает алгоритмы, которые должен осуществлять программируемый логический контроллер по соответствующим уставкам датчиков.

2.4 Выбор технических средств и составление заказной спецификации

2.4.1 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства предлагается использовать контроллер для автоматизации локальных систем. В данной работе рассматривались 4 контроллера от разных производителей: ОВЕН, ВЭСТ, Segnetics, Siemens. В таблице 7 приведены реализуемые функции контроллеров [42–44].

Таблица 7 – Сравнение функций контроллеров

Функции	ВЭСТ-02	ECL Comfort 300	ПЛК63	SIMATIC-S7-200
Ручное управление регулирующими клапанами	+	+	+	+
Ручное управление циркуляционным насосом	-	+	+	+
Температурная часовая компенсация	+	+	+	+
Автоматический переход на летнее время	-	+	+	+
Сохранение параметров настройки	+	+	+	+
Ограничение доступа посторонних лиц к изменению настройки	+	+	+	+
Архивация данных в энергонезависимой памяти регулятора	+	+	-	-
ЖК-дисплей	+	+	+	+
ПО для ПК (в комплекте)	+	-	+	+
ЦЕНА, руб.	17000	74000	14660	14000

Для реализации системы регулирования расхода компонентов органоводоугольного топлива, а также регулирования уровня готового топлива выбран контроллер ПЛК63 от ОВЕН [44], т.к. при относительно низкой цене предлагает оптимальный функционал, а также содержит полностью русифицированную среду разработки прикладного ПО контроллера. В таблице 8 приведена характеристика контроллера.

Таблица 8 – Технические характеристики ПЛК63

Наименование	Значение (свойства)
Питание	
Напряжение питания, В переменного тока (47...63 Гц)	от 90 до 264 (номинальное 110/220)
Потребляемая мощность, не более для переменного тока, Вт	18
Параметры встроенного вторичного источника питания, выходное напряжение	24±3
Цифровые (дискретные) входы	
Количество входов	8
Аналоговые входы	
Количество аналоговых входов	8
Разрядность АЦП, бит	15
Аналоговые выходы	
Количество аналоговых выходов	5 (выходы АО2...АО6)
Дискретные выходы (контакты электромагнитных реле)	
Количество релейных выходных каналов	1 (выход DO1), возможно увеличение за счет модуля MP1

Продолжение таблицы 8

Наименование	Значение (свойства)
Гальваническая развязка	индивидуальная
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле, А, не более	1 (для переменного напряжения не более 250 В и $\cos \phi > 0,4$ – нагрузка для категории использования АС-15 по ГОСТ Р 50030.1–2000). 4 (для переменного напряжения не более 250 В и $\cos \phi > 0,8$ – нагрузка для категории использования АС-15 по ГОСТ Р 50030.1–2000).

При работе в составе системы контроллер работает в соответствии с запрограммированным сценарием. В случае типовых сценариев контроллер контролирует значения технологических параметров, получая данные с подключенных к нему датчиков, и вырабатывает, в соответствии с заложенными алгоритмами (описаны в разделе математическое обеспечение), управляющие воздействия для подключенных к нему исполнительных устройств.

Контроллер может обмениваться данными с периферийными устройствами по сети RS-485, а также имеет возможность подключения модуля расширения количества дискретных выходных сигналов посредством модуля MP1, подключающимся в специально выделенный для этого порт в ПЛК.

2.4.2 Выбор технических средств сигнализации уровня

В процессе производства необходимо сигнализировать о низком уровне в соответствующих емкостях компонентов органоводоугольного топлива: фильтр-кек К, фильтр-кек Д, отработанное турбинное масло, пластификатор. Необходимо учитывать особенности измеряемых сред при выборе сигнализаторов, а именно при подборе плотности чувствительного элемента (поплавка).

Технические характеристики рассматриваемых сигнализаторов уровня приведены в таблице 9 [45-47].

Таблица 9 – Технические характеристики сигнализаторов уровня

Наименование	VibroTouch	Trolex, серия ТХ	НПП «Сенсор», ПМП
Длина измерительной части, мм	100...4000	до 3000	50...6000
Плотность измеряемой среды, г/см ³	0,5...2,5	0,7...2,0	0,5...1,5
Диапазон температур, °С	-45...150	-20...150	-50...60

Для проектирования системы более предпочтительным является уровнемер VibroTouch, т.к. он применяется при сигнализации уровня нефтепродуктов, имеет маркировку по взрывозащите ExdIIС-T5, класс пылевлагозащиты IP65, а также широкий диапазон рабочих температур, длин измерительной части, допускает возможность установки для сред с высокими плотностями.

Сигнализаторы VibroTouch предназначены для сигнализации изменения (уменьшения или увеличения) уровня жидкости в емкостях, трубопроводах и т.д. относительно заданного уровня. Принцип работы состоит в изменении частоты вибрации чувствительного элемента при изменении среды.

2.4.3 Выбор датчика уровня

В процессе производства, помимо сигнализации минимального уровня компонентов топлива, требуется измерение уровня готового органомоделугольного топлива в кавитационной камере. Для своевременного регулирования уровня готового топлива также необходима установка датчика уровня в камере. При выборе датчика необходимо учитывать специфику органомоделугольного топлива для исключения быстрого износа чувствительного элемента датчика.

Технические характеристики рассматриваемых датчиков уровня приведены в таблице 10 [48, 49].

Таблица 10 – Технические характеристики датчиков уровня

Наименование	SICK LFH	SICK DT500	Omnicom LLS4
Измеряемая среда	Жидкость	Сыпучие материалы	Жидкость
Метод измерений	Контактный	Бесконтактный	Контактный
Температура измеряемой среды, °C	-40...105	-40...75	-55...80
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	RS-232, RS-485
Класс защиты	IP68	IP65	IP69K

Для измерения уровня топлива в проектируемой системе более предпочтительным является датчик Omnicomm ввиду того, что данный датчик предназначен непосредственно для измерения уровней топлив, имеет самый высокий класс защиты, наибольший диапазон температур измеряемой среды, а также цифровой выходной сигнал.

Датчик уровня Omnicomm LLS4 предназначен для контроля расхода горючего на стационарных топливохранилищах и подвижных объектах различного отраслевого назначения: сельхозтехнике, спецтехнике, грузовом автотранспорте.

Особенности:

- неразборная сферическая крышка обеспечивает ударопрочность датчика и герметичность места его фиксации, небольшие размеры крышки позволяют производить установку при плотной компоновке агрегатов;
- улучшенный неразборный гермоввод обеспечивает дополнительную защиту от пыли и влаги;
- герметичные разъемы с уплотнением полностью защищают места соединений от попадания воды и грязи;
- оптимизированная прошивка обеспечивает производительность устройства и бесперебойность работы в любых гео зонах;
- улучшенная схемотехника и качественная элементная база обеспечивают точность показаний датчика даже при повышенных нагрузках или неблагоприятных условиях эксплуатации;
- коррозионностойкий металлорукав обеспечивает защиту проводов от механических и эксплуатационных воздействий;
- пломба разъема обеспечивает простое и надежное пломбирование устройства.

2.4.4 Выбор датчиков температуры

На сегодняшний день на рынке доступны одни из следующих датчиков температур:

- термисторы;
- термопреобразователи сопротивления (ТПС);
- термопары.

В современных АСУ ТП наиболее часто встречающимися датчиками являются ТПС и термопары.

Характеристики рассматриваемых датчиков температуры приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристики датчиков температуры

Характеристика	Термопара	Термопреобразователи сопротивления	Термистор
Диапазон измеряемых температур, °С	- 200...2500	- 50...500	- 50...180
Характеристика	Нелинейная	Близкая к линейной	Нелинейная
Цена, руб.	~ 2000	~ 600	~ 100
Взаимозаменяемость	Да	Да	Нет

В качестве датчика температуры наиболее предпочтительным в проектируемой системе будет являться термопреобразователь сопротивления, т.к. датчику температуры в данной системе не будет требоваться измерение низких (ниже 0 °С) и высоких (свыше 150 °С) температур.

Проведем сравнение термопреобразователей сопротивлений с различными чувствительными элементами. Технические характеристики датчиков приведены в таблице 12 [50].

Таблица 12 – Технические характеристики датчиков температуры

Характеристика	ТСП 1107	TСМ 1107
Диапазон измеряемых температур, °С	- 200...600	- 50...180
НСХ	50П; 100П	50М; 100М
Степень защиты от пыли и воды	IP55	

Более предпочтительным вариантом является ТСМ 1107 ввиду диапазона измеряемых температур близкого к рабочим значениям температур проектируемой системы.

2.4.5 Выбор исполнительного механизма

Выбор исполнительного механизма производим исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента.

Максимальный крутящий момент вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 80 - 338 = 213 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где D_y – условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе учитывалось условие:

$$M_H > M_{\max},$$

где M_n – номинальный крутящий момент на выходном валу исполнительного механизма, Н·м.

Выберем механизм исполнительный электрический однооборотный рычажный типа МЭО-250/63-0,25У-99 в общепромышленном исполнении для магистралей компонентов ОВУТ. Номинальный крутящий момент на выходном валу 250 ньютон-метров, номинальное время полного хода выходного вала 63 секунды, номинальное значение полного хода выходного вала 0,25 оборота, потребляемая мощность 240 Вт, масса 27,5 кг, напряжение питания 220 В, частота 50 Гц.

2.4.6 Выбор блока управления исполнительным механизмом

В качестве блока управления используем блоки БУЭР. Блоки управления электродвигателями реверсивные - БУЭР предназначены для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами (ЭИМ) типа МЭО-6,3...МЭО-4000, МЭОФ-1,6... МЭОФ-4000, МЭМ-6,3..., МЭМ-160, МЭПК-200..., МЭП-25000) с однофазным (БУЭР 1) или трехфазным (БУЭР 3) электродвигателями [51].

Новые блоки управления типа БУЭР, разработанные и выпускаемые ЗАО «Волмаг» являются аналогами известных пускателей для исполнительных механизмов МЭО типа ПБР и ФЦ, разработанных ОАО «СКБ СПА» (г. Чебоксары) более 20 лет назад.

Используем блок БУЭР 1-30-02 [52]. Он выполняет управление электрическим исполнительным механизмом (ЭИМ) с однофазным электродвигателем по командам, получаемым по резервированному цифровому каналу.

Функции блока управления:

- управление электродвигателем (пуск, реверс, остановка);
- самодиагностика;
- диагностика ЭИМ;

- защита силовых ключей от короткого замыкания;
- защита от перегрузки по току.

2.4.7 Выбор насоса

Органоводоугольное топливо содержит в своем составе помимо нефтепродуктов, также отходы углеобогащения, которые в свою очередь включают в себя мелкие абразивные частицы угля. Также смесь нефтепродуктов и фильтр-кеков является высоковязкой средой. Данную специфику следует учесть при выборе насосного агрегата.

Проведем сравнение наиболее популярных моделей насосных агрегатов для перекачки мазута, сравнение представлено в таблице 13 [53, 54].

Таблица 13 – Технические характеристики насосов

Характеристика	Abaque	Blackmer MLX	CIRCOR Pumping Technologies, ADBP
Производительность, м ³ /час	< 77,0	< 148,0	< 0,72
Температура перекачиваемой среды, °С	< 100	- 20 ... 140	< 100
Давление, МПа	< 1,6	< 1,4	< 1,2
Перекачка среды с абразивными частицами	Да	Да (даже в большом количестве)	Да (в небольшом количестве)

С учетом представленных характеристик на рынке насосных агрегатов, наиболее предпочтительным является насос серии Blackmer MLX.

Особые преимущества шиберных насосов Blackmer перед другими типами насосов (например, винтовой, шестеренный), это:

- отличное самовсасывание насоса (порядка 8,5 метров);
- способность работы «в сухую» до заполнения рабочей камеры жидкостью;
- отличная энергоэффективность (потребление электроэнергии в 2 раза меньше, чем у шестеренных с аналогичными параметрами);
- бесшумность;
- ремонтпригодность и низкая стоимость технического обслуживания (расходным материалом в шиберном насосе являются шиберы, стоимость которых не сравнимо ниже стоимости статора винтового насоса, либо шестерней шестеренного насоса, кроме того для их замены не требуется извлекать насос из линии);
- возможность замены поверхности по которой скользят шиберы.

Особое внимание стоит обратить на возможность быстрой замены шиберов данного насоса без извлечения насоса из линии, что очень актуально для системы, в которой перекачиваемая жидкость содержит множество абразивных частиц.

Заказная спецификация средств автоматизации приведена в Приложении А.

3 Схема взаимосвязи оборудования верхнего и полевого уровней

Автоматизированная система управления процессом топливоприготовления органоводоугольных суспензий строится по трехуровневому принципу:

- верхний уровень (2-ой уровень);
- средний уровень (1-ый уровень);
- нижний уровень (0-ой (полевой) уровень).

Автоматизированная система управления должна обеспечивать работу в режиме – 24 часов в день, 7 дней в неделю (24x7), а также выполнение своих функций, таких как: сбор, обработка и загрузка данных, хранение данных, предоставление отчетности.

Разработанная система регулирования должна обеспечивать постоянный автоматический контроль за всеми необходимыми параметрами технологического процесса на всех его этапах, сбор, хранение и обработку этих данных, а также их передачу. САУ должна быть организована по трехуровневому принципу, с минимизацией участия диспетчеров в технологическом процессе. Также оборудование системы регулирования желательно должно иметь возможность архивации данных о состоянии технологического процесса.

Для электропитания технических средств должна быть предусмотрена трехфазная четырехпроводная сеть с глухо заземленной нейтралью 380/220 В $\pm(10-15)$ % частотой 50 Гц. Каждое техническое средство запитывается однофазным напряжением 220 В частотой 50 Гц через сетевые розетки с заземляющим контактом.

Схема взаимосвязи оборудования полевого и верхнего уровней автоматизированной системы топливоприготовления представлена на рисунке 12.

Уровни:

2-ой уровень

АРМ

1-ый уровень

Щит автоматизации

0-ой уровень
(полевой)

Исполнительные
механизмы

Датчик
уровня

Рисунок 12 – Схема взаимосвязи оборудования полевого и верхнего уровней автоматизированной системы топливоприготовления

Нижний уровень представляет собой совокупность средств измерения уровня топлива, исполнительных механизмов, а также другого оборудования, необходимого для контроля и управления всеми технологическими параметрами процесса приготовления топлива. Все оборудование нижнего уровня должно быть размещено на технологическом объекте или на приборных щитах.

Технические средства среднего уровня представляют собой щит автоматизации, необходимый для сбора информации с нижнего уровня и передачи ее на верхний уровень – на АРМ оператора. Также средства

среднего уровня требуются для передачи информации о состоянии технологического оборудования.

Верхний уровень САУ является автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ), предназначенным для отображения полученной со среднего уровня информации, а также визуализации протекания технологического процесса посредством соответствующего программного обеспечения. Также АРМ позволяет дистанционно управлять течением технологического процесса.

АРМ оператора представляет собой персональный компьютер офисного исполнения, в комплекте которого: клавиатура, манипулятор типа мышь, монитор. АРМ поставляется в комплекте с прикладным, системным, офисным и программным обеспечением.

4 Разработка документации АСУ топливоприготовления

4.1 Перечни входных и выходных сигналов

Согласно РД 50-34.698-90 «Перечень входных сигналов и данных» содержит наименования измеряемых величин, тип сигналов, а также источник формирования. «Перечень выходных сигналов» содержит перечень выходных сигналов с указанием их наименований, а также получателя сигнала.

В таблице 14 представлен перечень входных сигналов и данных АСУ ТП.

Таблица 14 – Перечень входных сигналов и данных

Наименование параметра	Позиция по ФСА	Тип датчика, прибора	Вид сигнала	Тег
Аварийно низкий уровень фильтр-кек К	1а	VibroTouch	DI	LA_001
Аварийно низкий уровень фильтр-кек Д	2а	VibroTouch	DI	LA_002
Аварийно низкий уровень отработанного турбинного масла	3а	VibroTouch	DI	LA_003
Аварийно низкий уровень пластификатора	4а	VibroTouch	DI	LA_004
Текущий уровень топлива	6а	Omnicom LLS4	AI	LT_001
Насос. В работе	5б	Blackmer MLX	DI	NSA

Продолжение таблицы 14

Наименование параметра	Позиция по ФСА	Тип датчика, прибора	Вид сигнала	Тег
Температура подшипника двигателя насоса	5а	ТСМ 1107	AI	TE_001
Положение клапана КР1	8а	БУЭР1-30-02	AI	GT_1
Положение клапана КР2	9а	БУЭР1-30-02	AI	GT_2
Положение клапана КР3	10а	БУЭР1-30-02	AI	GT_3
Положение клапана КР4	11а	БУЭР1-30-02	AI	GT_4
Температура готового топлива	7а	ТСМ 1107	AI	TE_002

В таблице 15 представлен перечень выходных сигналов АСУ ТП.

Таблица 15 – Перечень выходных сигналов

Наименование параметра	Позиция	Тип датчика, прибора	Вид сигнала	Тег
Задать положение клапана КР1	8а	БУЭР1-30-02	АО	GC_1
Задать положение клапана КР2	9а	БУЭР1-30-02	АО	GC_2
Задать положение клапана КР3	10а	БУЭР1-30-02	АО	GC_3
Задать положение клапана КР4	11а	БУЭР1-30-02	АО	GC_4
Насос. Включить	5б	Blackmer MLX	DO	NSA_ON
Насос. Отключить	5б	Blackmer MLX	DO	NSA_OFF

4.2 Разработка принципиальной схемы АСУ топливоприготовления

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, предназначенные для контроля и осуществления в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи. На схеме допускается изображать соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям [55]. Принципиальные схемы имеют код ЭЗ.

Принципиальные схемы служат основанием для разработки других документов проекта (монтажных таблиц щитов и пультов, схем внешних соединений и др.). На такой схеме изображаются все элементы информационно-измерительной системы, находящиеся в щите, а также принцип их взаимодействия между собой.

Принципиальная электрическая схема автоматизированной системы управления расходом топлива в виде органоводоугольных суспензий представлена на листе ФЮРА.421000.007 ЭЗ.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений. Расположение графического материала выбираем таким образом, чтобы чтение этого чертежа было легким. Для сокращенной записи сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81 «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах». Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

При разработке принципиальной электрической схемы выполняем нанесение на схему технических средств автоматизации в соответствии со

стандартами, производим соединение проводок с клеммами устройств по требованиям заводов изготовителей оборудования [47, 49, 50–52].

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений.

Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Последовательность обозначений сверху вниз в направлении слева направо. В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1–99, для цепей питания 100–199.

4.3 Разработка монтажной схемы АСУ топливоприготовления

Монтажные схемы щитов и пультов проектируют с целью выполнения различных видов коммутации элементов систем автоматизации в пределах щитов и пультов. К монтажной документации щитов относят схемы электрических соединений щитов.

В данной работе необходимо разработать монтажную схему автоматизированной системы управления расходом компонентов ОВУТ.

Схема монтажная должна содержать:

- первичные преобразователи, расположенные вне щита;
- внешние электрические и трубные проводки;
- щит автоматизации;
- таблицу с поясняющими надписями.

На схеме внешних проводок сверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах.

Исполнительные механизмы и датчик теплоты сгорания топлива изображены монтажными символами [55]. Внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним соответствующих жил кабелей. Изображены только клеммы, которые используются для решения данной задачи. Маркировки жил указаны вне монтажных символов.

Щит автоматизации был изображен в виде прямоугольника в нижней части чертежа, в нем показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним провода и жилы кабелей. Проводники, подключаемые к соответствующим зажимам обозначены в соответствии с принципиальной электрической схемой.

Конечной целью проектирования электрических и трубных проводок является создание монтажной документации, необходимой для прокладки,

коммутации жил к техническим средствам автоматизации, а также для проверки и ввода в эксплуатацию проводок.

Для линий питания выбираем кабели с алюминиевыми жилами сечением $2,5 \text{ мм}^2$ типа АКРВБГ, которые имеют броню из двух стальных оцинкованных лент, а также оболочку из резины, не распространяющей горение. Такой кабель предназначен для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств с номинальным переменным напряжением до 660 В и частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1000 В [57], что полностью удовлетворяет нашим требованиям, так как система питается от сети 220 В. Применяются такие кабели для прокладки на открытом воздухе, в помещениях, каналах, туннелях, если кабели не подвергаются значительным растягивающим усилиям и при наличии опасности механических воздействий на кабели. Не распространяют горение при одиночной прокладке (нормы ГОСТ 12176-89). Стойки к монтажным изгибам.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСУ

№ линии	Марка	Число жил	Номинальное сечение, мм^2	Диаметр, мм
22, 28	АКРВБГ	4	2,5	15,51
9	АКРВБГ	10	2,5	18,54
1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 29, 30, 31	КРВГ	4	1	10,54
27	КРВБГ	10	1	12,39
8, 26	КРВБГ	25	1	23,25
5, 13, 17, 21, 25	КИПЭВ	2	0,6	9,22

Для защиты кабелей применять защитные трубы нецелесообразно, так как помещения, в которых проложены кабели не являются жаркими, пыльными, а также температура в них не опускается до низких значений.

Монтажная схема проектируемой АСУ представлена на чертеже ФЮРА.421000.007 С4.

4.4 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции САУ

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации. Учитывая конструктивные особенности, а также степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении разместим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы топливоприготовления, выберем щит шкафной малогабаритный серии ЩШМ [58].

Щиты серии ЩШМ предназначены для размещения аппаратуры управления, сигнализации и автоматики.

Конструкция щитов шкафных малогабаритных серии ЩШМ представляет собой металлический цельносварной корпус навесного исполнения. Возможен подвод кабелей как сверху, так и снизу. Степень защиты щитов шкафных малогабаритных серии ЩШМ: IP31.

Общий вид щита представлен на чертеже ФЮРА.421000.007 ВО.

4.5 Разработка фрагментов математического, программного и информационного обеспечений

4.5.1 Математическое обеспечение

При разработке математического обеспечения для проекта, необходимо выполнить документ ПБ – описание алгоритмов. Данный документ представляет собой текстовое, графическое и табличное описание функций автоматизированной системы управления, которые должны быть реализованы в программном обеспечении среднего уровня АСУ ТП (ПО ПЛК):

- сбор информации о текущем состоянии технологического процесса;
- обработка технологических параметров;
- контроль состояния технологического оборудования;
- автоматическое управление технологическим процессом, в том числе аварийные блокировки и защиты;
- обработка и выполнение команд оператора.

Описание алгоритмов регулирования, технологических защит и блокировок для АСУ процессом приготовления топлива представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Алгоритмы разрабатываемой АСУ

Параметры контроля и защиты	Тэг	Величины установленного значения	Действия технологического оборудования и сигнализация при срабатывании защит
Теплота сгорания топлива (расчетный параметр)	UI_4	< 12 МДж/кг	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора
		> 25 МДж/кг	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора
Низкий уровень в Е-1	LA_001	< 200 мм	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора Останов насоса NSA_OFF

Продолжение таблицы 17

Низкий уровень в Е-2	LA_002	< 200 мм	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора Останов насоса NSA_OFF
Низкий уровень в Е-3	LA_003	< 200 мм	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора Останов насоса NSA_OFF
Низкий уровень в Е-4	LA_004	< 200 мм	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора Останов насоса NSA_OFF
Текущий уровень топлива	LT	< 400 мм	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора
		> 1000 мм	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора
		> 1100 мм	Останов насоса NSA_OFF
Температура подшипника двигателя	TE_001	> 65 °С	Дистанционная сигнализация на АРМ оператора Останов насоса NSA_OFF

4.5.2 Программное обеспечение

Программное обеспечение АСУ ТП — совокупность программ, обеспечивающих функционирование всех цифровых вычислительных средств АСУ ТП (контроллеры, серверы, рабочие и инженерные станции, программаторы, панели оператора), а также решающих все функциональные задачи на этапах разработки, наладки, тестирования и эксплуатации системы.

Описание программного обеспечения содержит следующую информацию:

- структуру программного обеспечения;
- функции частей программного обеспечения;
- средства разработки программного обеспечения;
- описание средств, расширяющих возможности операционной системы.

Программное обеспечение АСУ ТП делят на две основные категории:

- общее программное обеспечение, включающее операционные системы, SCADA-системы, пакеты программ для программирования контроллеров, компиляторы, редакторы и т.п., общее программное обеспечение АСУ ТП не привязано к конкретному объекту автоматизации, закупается и поставляется так же, как и технические средства;

- специальное программное обеспечение — это программы, разработанные для конкретной АСУ ТП, к этой категории относятся программы для контроллеров, реализующие определенные функциональные задачи обработки информации и управления; программы, сгенерированные в среде SCADA-системы для визуализации, архивирования данных конкретного технологического процесса.

Программное обеспечение (ПО) средств АСУ подразделяется на [59]:

- системное ПО;
- прикладное ПО;
- сервисное ПО.

Системное ПО АСУ [60, 61] – совокупность программ для управления аппаратной частью автоматизированного рабочего места или программируемого логического контроллера. В данной АСУ системное ПО требуется для организации взаимодействия человека с технологическим процессом посредством отображения мнемосхем на мониторе АРМ. Системное ПО программируемого логического контроллера необходимо для запуска и выполнения прикладного ПО из системы контроллера.

Прикладное ПО АСУ [60, 61] – программное обеспечение, конфигурируемое инженером для последующей загрузки в память программируемого логического контроллера с целью автоматизации технологического процесса. Прикладное ПО обеспечивает выполнение заданных алгоритмов.

Сервисное ПО АСУ [61] – вспомогательное программное обеспечение, включающее средства разработки прикладного ПО, антивирусное ПО, офисное ПО и др.

Прикладное ПО уровня ПЛК, работающее в реальном времени, разработано для автоматизированной системы с учетом ее специфики с использованием стандартных языков программирования ПЛК в соответствии с МЭК 61131-3.

Прикладное ПО АРМ оператора АСУ разработано на основе современных SCADA-систем и реализовывает в АСУ отображение информации на экранах мониторов ПК (видеокадры, табличные формы) для выполнения технологического мониторинга, команд управления с АРМ, формирование архивной информации, формирование трендов по измеряемым параметрам, файлов журнала событий и системного журнала.

4.5.3 Информационное обеспечение

Передача данных организована посредством сети основанной на протоколе обмена Modbus RTU.

На уровне сбора и обработки актуальность данных позволяет хранить их в оперативной памяти сервера. База этого уровня содержит следующие данные:

- данные модулей ввода/вывода;
- данные диагностики системы;
- данные преобразования.

Совместимость с другими системами по передаче данных обеспечивается на уровне используемых протоколов, которые являются стандартом в области локальных вычислительных и промышленных сетей. На уровне представления программ контроллеров совместимость обеспечивается использованием форматов IEC 1131-3.

Все типы данных, образующие информационную базу данных с учетом функционального назначения на концептуальном уровне, формируются в логическую модель данных. Логическая модель отражает логические связи между элементами, является реляционной и состоит из следующих логических баз данных:

- база данных ПЛК;
- БД реального времени;
- историческая БД.

База данных ПЛК содержит текущие данные, поступающие от датчиков, исполнительных механизмов на модули ввода-вывода, хранимые и обрабатываемые контроллерами, а также конфигурационную информацию созданную/настроенную в системе проектирования и загружаемую в ПЛК. Обмен информацией между базой данных ПЛК и базой данных реального времени происходит по заданному алгоритму. База данных реального времени содержит оперативную информацию о текущем состоянии технологического процесса, а также учетно-расчетную информацию. Значения технологических параметров в реальном масштабе времени выводятся на АРМ оператора. Обмен данными между базой данных реального времени и базой данных ПЛК осуществляется с помощью тегов процесса (внешние теги).

Информация из базы данных реального времени используется для:

- контроля состояния технологического процесса;
- организации работы алгоритмов управления;
- управления исполнительными механизмами;
- формирования исторической базы данных.

Физическая структура внутримашинной информационной базы определяет способ хранения данных (физический адрес и т.д.) и доступ к ним. БД реального времени АСУ находится на оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) АРМ. Базы данных текущих параметров уровня ПЛК размещается в рабочей памяти (ОЗУ) процессора ПЛК.

5 Расчет параметров настройки регулятора

5.1 Идентификация объекта управления

Идентификация систем — совокупность методов для построения математических моделей динамической системы по данным наблюдений. Математическая модель в данном контексте означает математическое описание поведения какой-либо системы или процесса в частотной или временной области. Существует активная и пассивная идентификации. В случае активной — объект исследования выводится из условий нормальной окружающей среды (нормальный режим эксплуатации, номинальные параметры рабочего режима и т. п.), а на его входы подается специальные сигналы. Активную идентификацию используют при разработке новых технологий применительно к действующим промышленным объектам, а пассивную для уточнения математической модели.

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения расхода фильтр-кек для котла НР-18. Модель составлена на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. Кривая разгона приведена на рисунке 13.

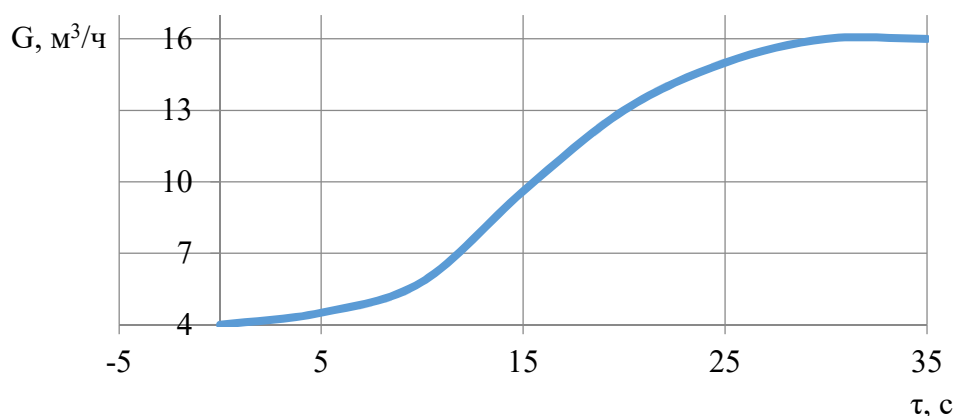


Рисунок 13 – Кривая разгона объекта управления:

G – расход, τ – время

На полученной переходной характеристике определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени T ; запаздывание t , коэффициент передачи K .

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (5.1)$$

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения 5.1 при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (5.2)$$

Получаем два неизвестных значения времени запаздывания τ и постоянную времени T .

Получаем два неизвестных значения время запаздывания τ и постоянную времени T .

Коэффициент усиления:

$$k = \frac{h(T_y)}{A}, \quad (5.3)$$

где A – выходное воздействие, при единичном воздействии $k = h(T_y)$.

На кривой разгона строим две точки – А и Б. Точка А определяется как $0,33 k$, а точка Б имеет ординату $0,7 k$.

Постоянная времени T и время запаздывания τ определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (5.4)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1-h_A) - t_A \ln(1-h_B)}{\ln(1-h_A) - \ln(1-h_B)}, \quad (5.5)$$

где t_A и t_B – значение времени для соответствующих точек на кривой;

h_A и h_B – значение ординат для точек А и Б.

Определяем расположение на кривой точек А и Б и находим необходимые неизвестные параметры.

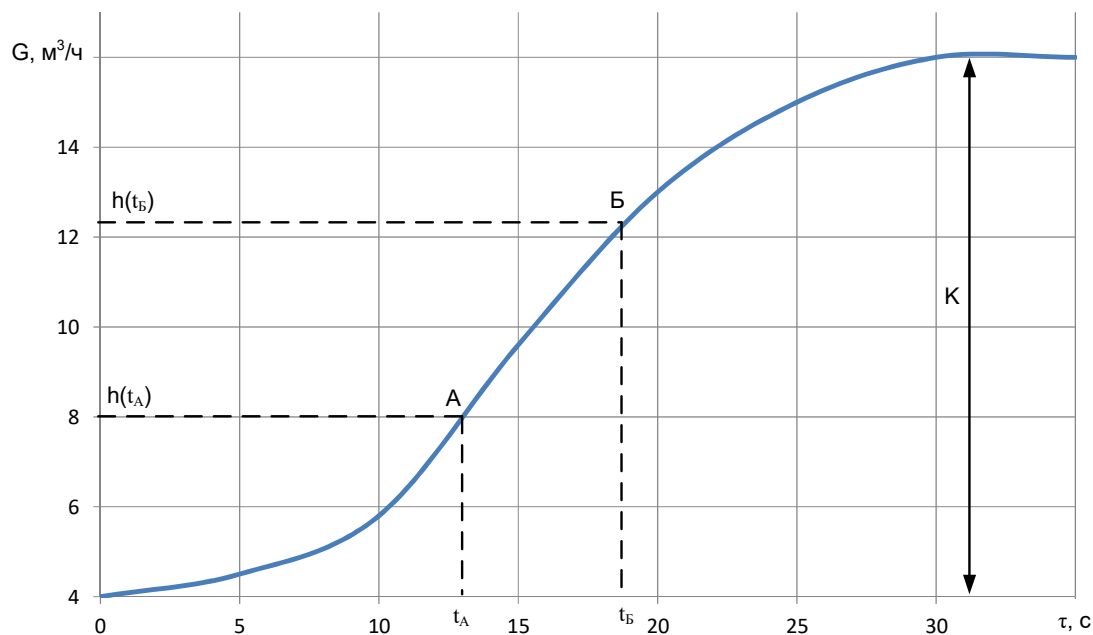


Рисунок 14 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора

Для наглядности и точности производится аппроксимация кривой по методу Орманна. Определяется время t_B по нормированной переходной функции $H(t)$, которое является корнем уравнения $h(t_B)$ и время t_A и $h(t_A)$. Затем вычисляются постоянная времени T и время запаздывания τ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (5.6)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1.2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (5.7)$$

Определяем значения постоянной времени T и времени запаздывания

τ :

$$\tau = 0,5(3 \cdot 13 - 19) = 10 \text{ с},$$

$$T = 1,25(19 - 13) = 7,5 \text{ с}.$$

Передаточная функция (5.1) имеет вид:

$$W(P) = \frac{12}{(7,5P+1)} e^{-10P}.$$

5.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 15 представлен вид расчетной схемы системы регулирования.

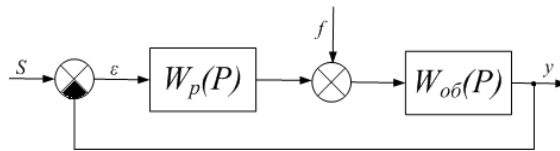


Рисунок 15 – Расчетная схема системы регулирования

Расчет системы производится для степени устойчивости равной $\psi=0,75$.

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,75) = 0,221. \quad (5.8)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{12}{(7,5P+1)} e^{-10P}.$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 18. Полученные значения представлены для диапазона частот от $0,0001$ до $0,34 \text{ с}^{-1}$, с шагом по частоте в $0,02 \text{ с}^{-1}$.

Таблица 18 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{06}(m, \omega)$	$\text{Im}_{06}(m, \omega)$	$A_{06}(m, \omega)$
0	12,005	-0,021	12,005
0,020	12,024	-4,443	12,819
0,040	10,143	-8,703	13,365
0,060	6,654	-11,871	13,609
0,080	2,307	-13,383	13,580
0,100	-2,062	-13,189	13,349
0,120	-5,828	-11,614	12,994
0,139	-8,667	-9,121	12,582
0,159	-10,493	-6,146	12,160
0,179	-11,359	-3,030	11,756
0,199	-11,385	-0,018	11,385
0,219	-10,711	2,726	11,052
0,239	-9,479	5,093	10,760
0,259	-7,823	7,016	10,508
0,279	-5,867	8,457	10,293
0,299	-3,727	9,401	10,112
0,319	-1,506	9,848	9,963
0,338	0,699	9,817	9,842

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_P}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{06}(m, \omega)}{A_{06}^2(m, \omega)}, \quad (5.9)$$

$$K_P = - \frac{m \cdot \text{Im}_{06}(m, \omega) + \text{Re}_{06}(m, \omega)}{A_{06}^2(m, \omega)}, \quad (5.10)$$

где T_u – постоянная времени интегрирования регулятора, с;

K_P – коэффициент передачи регулятора.

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0 до 0,34 с^{-1} , с шагом по частоте в 0,02 с^{-1} . Полученные значения представлены в таблице

Таблица 19.

Таблица 19 – Значение параметров ПИ-регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	K_p/T_i
0	-0,08327	0,000000015
0,020	-0,0672	0,00056713
0,040	-0,04602	0,00203892
0,060	-0,02176	0,00402029
0,080	0,00353	0,00606603
0,100	0,02793	0,0077319
0,120	0,04972	0,00862125
0,139	0,06748	0,00842386
0,159	0,08014	0,00694466
0,179	0,08703	0,0041211
0,199	0,08787	0,00002847
0,219	0,08275	-0,0051264
0,239	0,07214	-0,01102187
0,259	0,0568	-0,01724699
0,279	0,03774	-0,02333334
0,299	0,01613	-0,0287909
0,319	-0,00676	-0,03314499
0,338	-0,02962	-0,03597189

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 16. Полученная кривая на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,75. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

В качестве критерия качества используется первая интегральная оценка. Минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением соотношения K_p/T_i на линии заданного запаса устойчивости.

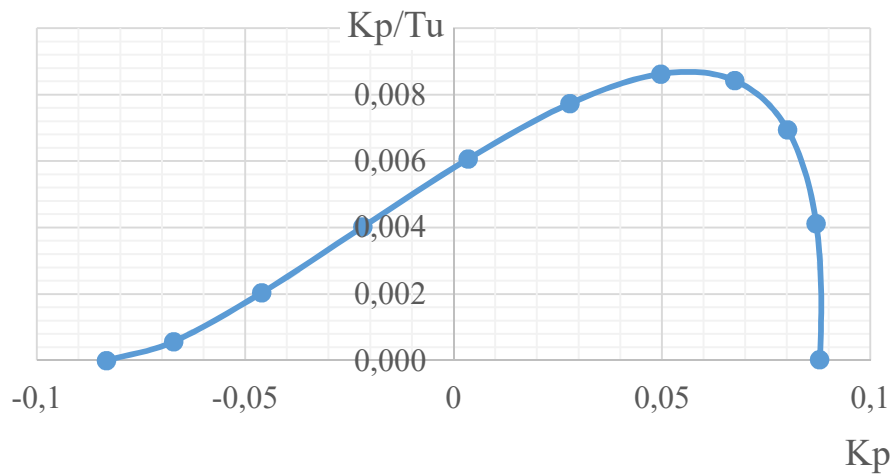


Рисунок 16 – График зависимости отношения K_p/T_u от коэффициента передачи регулятора K_p

Из таблицы

Таблица 19 определяем:

$$\max \left(\frac{K_p}{T_u} \right) = 0,00862125, \quad K_p = 0,04972, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,120 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 5,77 \text{ с.} \quad (5.11)$$

Произведем оценку качества переходного процесса в замкнутой системе при возмущении, которое идет по каналу регулирующего воздействия.

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (5.12)$$

где $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора;

$W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта.

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную

частотную характеристику системы. На рисунке 17 представлен график вещественно-частотной характеристики.

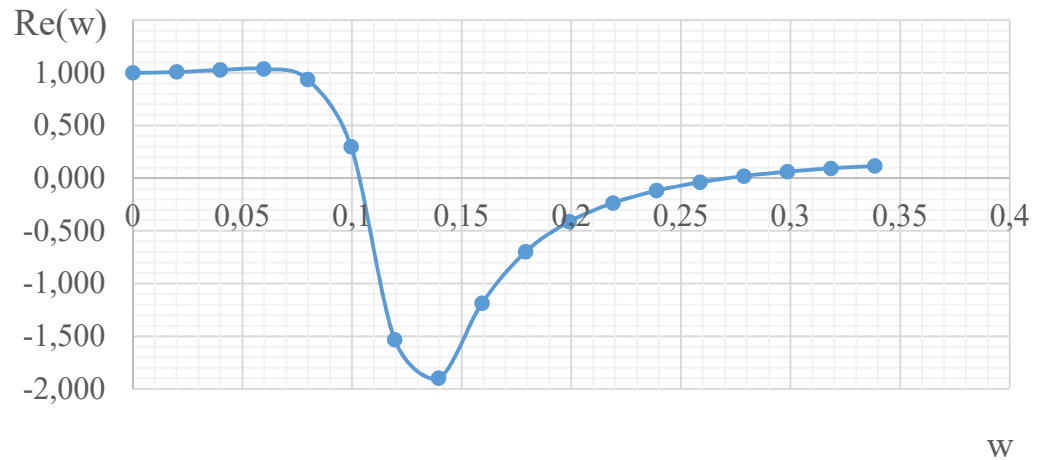


Рисунок 17 – Графическое представление вещественно-частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественно частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega , \quad (5.13)$$

где $Re(\omega)$ – вещественно-частотная характеристика системы;

ω – частота;

t – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором вещественная частотная характеристика системы стремится к 0. Из рисунка 17 определяем это значение.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,10} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega . \quad (5.14)$$

На рисунке 18 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит

сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

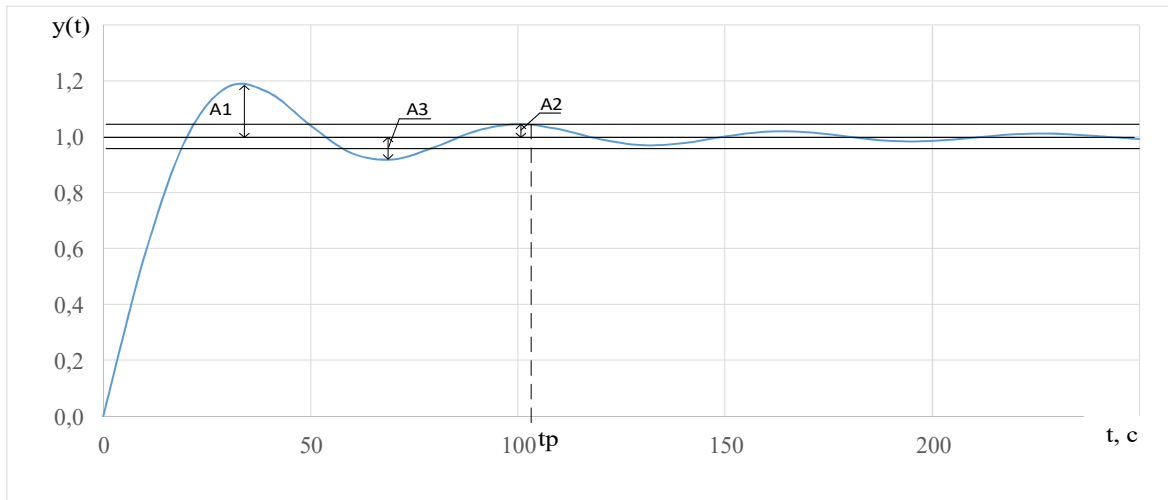


Рисунок 18 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график переходного процесса, определяются прямые оценки качества:

- 1) максимальная динамическая ошибка: $A_1=0,2$;
- 2) перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_3}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,08}{1} \cdot 100 = 8 \% ; \quad (5.15)$$

- 3) динамический коэффициент регулирования R_d :

$$R_d = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100 = \frac{0,2 + 1}{12} \cdot 100 = 10 \% , \quad (5.16)$$

где $K_{об} = 12$ – коэффициент передачи объекта;

- 4) степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,04}{0,2} = 0,8, \quad (5.17)$$

где $A_2 = 0,04$ – второй максимальный выброс регулируемой величины;

- 5) статическая ошибка:

$$\varepsilon_{CT} = S - \gamma(\infty) = 1 - 1 = 0; \quad (5.18)$$

б) время регулирования: $t_p = 107$ с.

6 Видеокадр мнемосхемы АСУ

Мнемосхема представляет собой совокупность изображений оборудования, задействованного на объекте, а также связей объекта, которые показываются на диспетчерских пультах или на персональном компьютере. Мнемосхемы позволяют оператору, находясь на автоматизированном рабочем месте следить за технологическим процессом, а также принимать в нем непосредственное участие (запускать различные насосы, регулировать расходы веществ, открывать или закрывать задвижки и многое другое). Также на мнемосхеме можно наблюдать различные предупреждения, которые отображают сбои в работе оборудования, или предупреждают, что на некоторые параметры технологического процесса следует обратить внимание.

В данной работе была разработана мнемосхема системы управления процессом приготовления топлива в форме органоводоугольных суспензий в системе Simple Scada, которая представлена на рисунке 19.

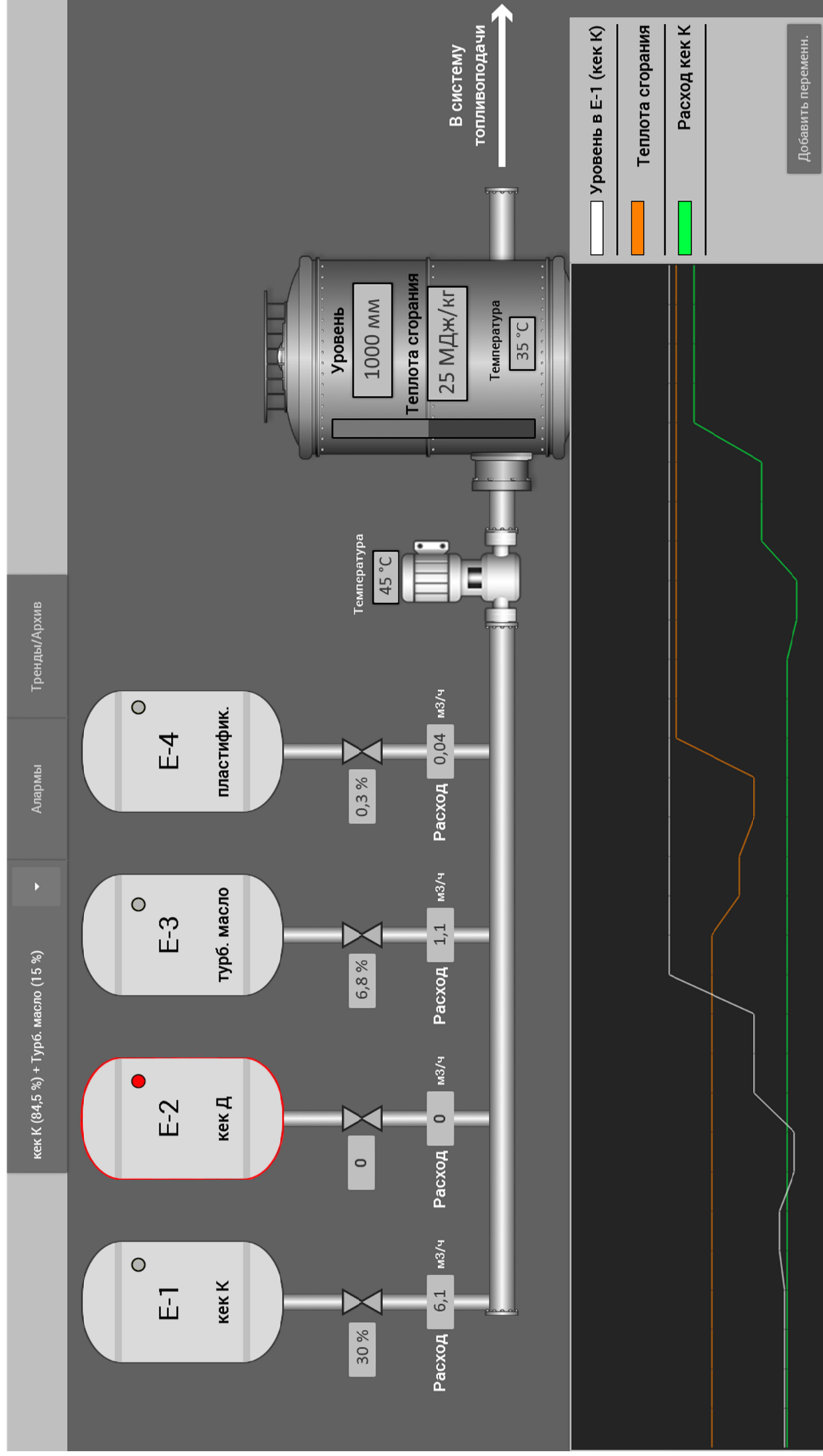


Рисунок 19 – Мнемосхема системы управления топливоприготовлением

В верхней части схемы можно выбрать одно из шести представленных видов топлива для приготовления в системе, а именно суспензии на основе фильтр-кек К и фильтр-кек Д и отработанного турбинного масла с различными концентрациями последнего: 5–15 %. Также можно ввести значения расходов самостоятельно, напротив соответствующих трактов подачи компонентов, данная возможность предоставлена пользователям с соответствующими правами доступа. В качестве органов управления выступают клапаны, при нажатии на которые пользователь имеет возможность задать процент открытия, а при нажатии на кнопку выбора топлива задать процентное соотношение компонентов топлива.

Просмотр трендов можно вывести в нижнюю часть мнемосхемы, либо на отдельном окне видеокadra. В нижней части схемы (либо на другом окне видеокadra) помимо предупреждений можно следить в настоящем времени за текущим расходом компонентов ОВУТ, которые перекачиваются из системы хранения топлива. Полученная теплота сгорания ОВУТ отображается на баке-гомогенизаторе. Также на баке отображается значение текущего уровня готового топлива и время, прошедшее с последнего перемешивания топлива. На баках компонентов топлив предусмотрена дистанционная сигнализация о низком уровне в соответствующем баке. Также можно по отдельности управлять клапанами (закрывать их в случае аварийных ситуаций дистанционно), которые регулируют расход компонентов водоугольного топлива.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ74	Косинцеву Андрею Георгиевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- В исследовании задействовано 2 человека: Руководитель исследования, магистрант. - Исследования выполняется на базе ТПУ - Стоимость материально-технических ресурсов определяется в соответствии с информацией, представленной в научных публикациях.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплата труда.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Планирование работ и оценка их выполнения
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Смета затрат на проект
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Смета затрат на оборудование

Перечень графического материала:

1. Календарный план проведения НИР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселева Елена Станиславовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Косинцев Андрей Георгиевич		

7 Финансовый менеджмент

Темой научно-исследовательской работы является разработка автоматизированной системы управления процессом приготовления органоводоугольного топлива.

Целью научно-исследовательской работы является анализ целесообразности применения данной системы топливоприготовления на существующих станциях генерации, а также реализация проекта данной системы.

Целью написания данного раздела является расчет экономической эффективности разработки автоматизированной системы топливоприготовления органоводоугольного топлива, которое может заменить собой традиционное топливо – угольную пыль. Как известно, ресурсоэффективность — способность минимально возможными усилиями достигать максимальных результатов, чтобы таким образом сэкономить ресурсы в широком смысле этого слова (материальные, финансовые и временные ресурсы, силы, здоровье и т.д.), а также использование меньшего количества ресурсов для производства того же объема продукции. В данной работе проведен анализ топливной эффективности перехода с использования угля на использование органоводоугольного топлива.

7.1 Перечень работ и оценивание времени их выполнения

Для оценки затрат на проект необходимо знать, сколько времени было потрачено на его разработку. Анализируя затраченное время на проект составим таблицу для наглядности. В таблице 20 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

Таблица 20 – Планирование работ и оценка их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей		Продолжительность, дней	
	Инженер (10 разряд)	Руководитель (16 разряд)	Инженер (10 разряд)	Руководитель (16 р)
1 Выдача и получение задания	1	1	1	1
2 Анализ литературных данных	1	-	20	-
3 Описание объекта исследования	1	-	9	-
4 Разработка функциональной схемы	1	1	3	1
5 Выбор технических средств и составление заказной спецификации	1	1	8	1
6 Разработка монтажной и принципиальной схем	1	1	8	1
7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции	1	1	4	1

Продолжение таблицы 20

Наименование работ	Количество исполнителей		Продолжительность, дней	
	Инженер (10 разряд)	Руководитель (16 разряд)	Инженер (10 разряд)	Руководитель (16 р)
8 Проведение экспериментальных исследований	1	1	25	2
9 Обработка результатов исследований	1	-	11	-
10 Технико-экономическое обоснование	1	-	4	-
11 Социальная ответственность	1	-	4	-
12 Оформление пояснительной записки	1	-	9	-
Проверка пояснительной записки	-	1	-	3
Итого	-	-	106	10

Анализируя перечень работ и оценки их выполнения, составим график проведения НИР, который представлен на рисунке 20. Такие графики используются для иллюстрации графика работ по проекту и являются одним из методов планирования проектов.

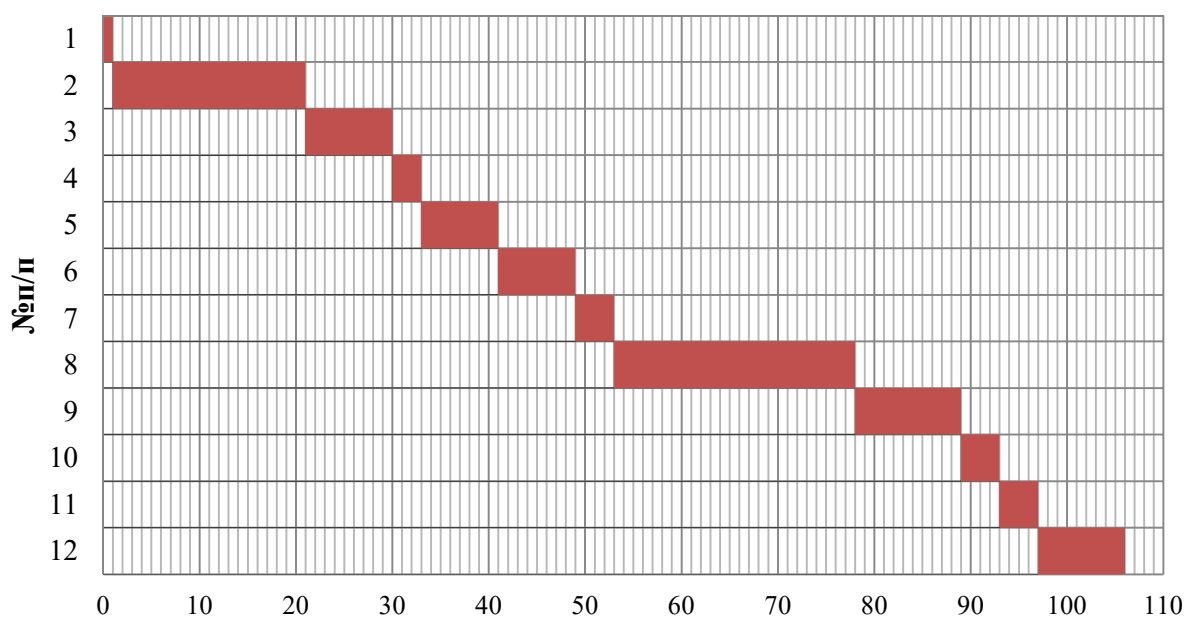


Рисунок 20 – График проведения НИР

7.1.1 Смета затрат на проект

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (7.1)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты, руб.;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники, руб.;

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработную плату, руб.;

$K_{\text{с.о}}$ – затраты на социальные нужды, руб.;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты, руб.;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы, руб.

7.1.2 Материальные затраты

В данной работе под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем $K_{\text{мат}}=1000$ руб.

7.1.3 Амортизация компьютерной техники

Амортизация показывает уменьшение стоимости компьютерной техники, на которой выполнялась работа, вследствие ее износа. Амортизация компьютерной техники рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (7.2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники.

$$K_{\text{ам}} = \frac{106}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1742,5 \text{ руб./год.}$$

7.1.4 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя выплаты инженеру, разрабатывающему проект, а также научному руководителю и рассчитываются как:

$$K_{\text{з/пл}} = ЗП_{\text{инж}}^{\phi} + ЗП_{\text{нр}}^{\phi}, \quad (7.3)$$

где $ЗП_{\text{инж}}^{\phi}$ – фактическая заработная плата инженера, руб.,

$ЗП_{\text{нр}}^{\phi}$ – заработная плата научного руководителя, руб.

Месячный оклад:

$$ЗП_{\text{инж}}^{\text{м}} = ЗП_{\text{оинж}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}, \quad (7.4)$$

$$ЗП_{\text{нр}}^{\text{м}} = ЗП_{\text{онр}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.}, \quad (7.5)$$

где $ЗП_{\text{инж}}^{\text{м}}$ – месячная заработная плата инженера;

$ЗП_{\text{нр}}^{\text{м}}$ – месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_{\text{оинж}}$ – месячный оклад инженера;

$ЗП_{\text{онр}}$ – месячный оклад научного руководителя;

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, равен 1,1 (10 %);

K_2 – районный коэффициент, равен 1,3 (30 %).

Фактическая заработная плата:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{21} \cdot n^{\phi}, \quad (7.6)$$

где $ЗП_{\text{мес}}$ – месячная заработная плата;

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} – фактическое число дней в проекте.

Инженер:

$$ЗП_{\text{инж}}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 106 = 122708 \text{ руб.}$$

Научный руководитель:

$$ЗП_{\text{нр}}^{\phi} = \frac{42900}{21} \cdot 10 = 20429 \text{ руб.,}$$

$$K_{з/пл} = 20429 + 122708 = 143137 \text{ руб.}$$

7.1.5 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

$$K_{\text{соц/н}} = K_{з/пл} \cdot 0,3, \quad (7.7)$$

$$K_{\text{соц/н}} = 143137 \cdot 0,3 = 42941 \text{ руб.}$$

7.1.6 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{з/пл} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1, \quad (7.8)$$

$$K_{\text{пр}} = (1000 + 1742,5 + 143137 + 42941) \cdot 0,1 = 18882 \text{ руб.}$$

7.1.7 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2, \quad (7.9)$$

$$K_{\text{накл}} = 143137 \cdot 2 = 286274 \text{ руб.}$$

В таблице 21 представлена смета затрат на проект.

Таблица 21 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	1742,5
Затраты на заработную плату	143137
Затраты на социальные нужды	42941
Прочие затраты	18882
Накладные расходы	286274
Итого	493976,5

7.2 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 22 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 22 – Затраты на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК ОВЕН 63	12500	1
Модуль расширения МР1	4000	1
Исполнительный механизм	19000	4
Блок управления	14000	4
Датчик температуры	1000	2
Сигнализатор уровня	4000	4
Датчик уровня	10000	1
Насос	250000	1
Провод ПВ-1 1х1	1000	1
Провод КИПЭВ 2х0,6	250	1
Провод КРВГ 4х1	1580	1
Провод КРВБГ 10х1	2600	1
Провод КРВБГ 10х1	1000	1
Провод АКРВБГ 4х2.5	3500	1
Провод АКРВБГ 7х2.5	1000	1
Компьютер	50000	1
Итого	375430	26

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 10 % от суммы затрат на технические средства:

$$I_{\text{монт}} = 0,1 \cdot I_{\text{обор}} \text{ руб.}, \quad (7.10)$$

где $I_{\text{обор}}$ – затраты на оборудование.

$$I_{\text{монт}} = 0,1 \cdot 1128430 = 112843 \text{ руб.}$$

7.3 Определение экономической эффективности проекта

Исходные данные для расчета энергетического потенциала фильтр кеков и низкосортных углей.

В каждом регионе к 2017 году уже накоплено и никак не утилизировано (хранится на полигонах) фильтр кека (величина G_{fc}^0):

- в Кемеровской области – $368,6 \cdot 10^6$ тонн;
- в Томской области не ведется добыча и обогащение угля.

Ежегодный объем производства фильтр кека (величина G_{fc}) составляет 10–15 % от объема обогащаемого угля:

- в Кемеровской области – $8,1 \cdot 10^6$ тонн;
- в Томской области не ведется добыча и обогащение угля.

Для типичного фильтр кека теплота сгорания составляет около $24,8 \cdot 10^6$ Дж/кг, (величина q_{fc}).

Энергетический потенциал от сжигания накопленных фильтр кеков до 2017 года:

$$Q_{fc}^0 = G_{fc}^0 \cdot q_{fc} \quad (7.11)$$

– в Кемеровской области $Q_{fc}^0 = 368,6 \cdot 10^6 \cdot 10^3 \cdot 24,8 \cdot 10^6 \cdot 0,6 = 548,5 \cdot 10^{16}$ Дж;

– в Томской области $Q_{fc}^0 = 0$ Дж.

Энергетический потенциал от сжигания фильтр кеков, накапливаемых в течение одного года:

$$Q_{fc} = G_{fc} \cdot q_{fc} \quad (7.12)$$

– в Кемеровской области $Q_{fc} = 8,1 \cdot 10^6 \cdot 10^3 \cdot 24,8 \cdot 10^6 \cdot 0,6 = 20,1 \cdot 10^{16}$ Дж;

– в Томской области $Q_{fc} = 0$ Дж.

Исходные данные для расчета энергетического потенциала жидких горючих отходов (отработанные масла).

В каждом регионе к 2017 году уже накоплено и никак не утилизировано, а хранится на полигонах (величина G_{oil}^0) отработанных масел, горючих отходов нефтедобычи и нефтепереработки:

– в Кемеровской области отсутствуют запасы жидких горючих отходов;

– в Томской области – $2219,4 \cdot 10^3$ тонн.

Ежегодный объем производства отработанных масел, горючих отходов нефтедобычи и нефтепереработки (величина G_{oil}):

– в Кемеровской области – $0,5 \cdot 10^3$ тонн;

– в Томской области – $11,5 \cdot 10^3$ тонн.

Около 40% отработанных масел не перерабатывается (коэффициент $l_{oil}=0,4$), которые могут быть использованы для приготовления композиционного топлива.

Для типичных масел теплота сгорания составляет около $44,0 \cdot 10^6$ Дж/кг, (величина q_{oil}).

Энергетический потенциал от сжигания накопленных отработанных масел до 2017 года:

$$Q_{oil}^0 = G_{oil}^0 \cdot q_{oil} \quad (7.13)$$

– в Кемеровской области $Q_{oil}^0 = 0$ Дж;

– в Томской области $Q_{oil}^0 = 2219,4 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 44,0 \cdot 10^6 = 9,8 \cdot 10^{16}$ Дж.

Энергетический потенциал от сжигания отработанных масел, накапливаемых в течение одного года:

$$Q_{oil} = l_{oil} \cdot G_{oil} \cdot q_{oil} \quad (7.14)$$

– в Кемеровской области $Q_{oil} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 44,0 \cdot 10^6 = 0,9 \cdot 10^{13}$ Дж;

– в Томской области $Q_{oil} = 0,4 \cdot 11,5 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 44,0 \cdot 10^6 = 0,2 \cdot 10^{16}$ Дж.

Результаты выполненных исследований приведены в таблице 23. Можно сделать вывод о том, что уже накопленные и ежегодно производимые промышленные отходы имеют достаточно высокий уровень энергетического потенциала. Поэтому в среднесрочной перспективе такие отходы могут быть использованы для удовлетворения потребностей в энергоресурсах при выработке энергии кемеровскими и томскими угольными тепловыми электрическими станциями.

Таблица 23 – Энергетический потенциал каждого региона за счет накопленных и ежегодно производимых отходов

Энергоресурсы	Суммарно накоплено		Ежегодный прирост	
	G^0 , тонн	Q^0 , Дж	G , тонн	Q , Дж
Кемеровская область (регион No. 1)				
Фильтр кек	$368,8 \cdot 10^6$	$548,5 \cdot 10^{16}$	$8,1 \cdot 10^6$	$12,1 \cdot 10^{16}$
Нефтепродукты	–	–	$0,5 \cdot 10^3$	$0,9 \cdot 10^{13}$
Томская область (регион No. 2)				
Фильтр кек	–	–	–	–
Нефтепродукты	$2,2 \cdot 10^6$	$9,8 \cdot 10^{16}$	$11,5 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^{16}$
Общие данные для двух регионов				
Фильтр кек	$368,8 \cdot 10^6$	$548,5 \cdot 10^{16}$	$8,1 \cdot 10^6$	$12,1 \cdot 10^{16}$
Нефтепродукты	$2,2 \cdot 10^6$	$9,8 \cdot 10^{16}$	$0,5 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^{16}$

Для рассматриваемых регионов собственные нужны в тепловой и электрической энергии покрываются преимущественно за счет местных тепловых электрических станций. В Кемеровской области основным топливом являются каменные угли, добываемые на местных месторождениях, резервным топливом является природный газ. В Томской области основным энергоресурсом является природный газ, который добывается на территории этого региона. Не смотря на это, все котлы при проектировании и строительстве изначально были рассчитаны на сжигание угля. Их модернизация и перевод на природный газ была выполнена после начала промышленной добычи природного газа в регионе. Основные характеристики тепловых электрических станций приведены в таблице

24.

Таблица 24 – Характеристики тепловых электрических станций

Тепловая электрическая станция	Установленная электрическая мощность	Установленная тепловая мощность	Выработка электроэнергии	Выработка тепловой энергии	Удельный расход условного топлива на отпущенную электроэнергию	Удельный расход условного топлива на отпущенную тепловую энергию	Топливный баланс			Полученная тепловая энергия от сжигания угля в топке котла
	МВт						Гкал/ч	кВт·ч (× 10 ⁶)	Гкал (× 10 ³)	
							%	%	%	
Кемеровская область (регион No. 1)										
Кем. ГРЭС	485	1540	2053	2524	362	152	76,8	22,8	<0,1	2,5
Кем. ТЭЦ	80	749	175	725	383	168	91,3	8,7	0	0,5
Ново-Кем. ТЭЦ	565	1449	1946	2911	370	160	99,4	0,5	<0,1	3,5
Томская область (регион No. 2)										
ТЭЦ-1	14,7	795	3,3	651	326	138	0	99,9	<0,1	0
ТЭЦ-3	140	780	746	1694	268,5	131	0	99,9	<0,1	0
ГРЭС-2	331	815	1104	2154	249	159,6	47,6	52,4	0	0,9
Общие данные для двух регионов										
–	1615,7	6128	6027,3	10659	–	–	–	–	–	7,4

Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии в Кемеровской области осуществляется на трех станциях (Кемеровская ГРЭС, Кемеровская ТЭЦ, Ново-Кемеровская ТЭЦ). Малые котельные (около 100 штук), суммарная установленная тепловая мощность которых составляет 904 Гкал/ч, обеспечивают теплом преимущественно жилищно-коммунальный сектор и малые промышленные предприятия. Основными источниками теплоснабжения и электроснабжения в Томской области являются 3 станции

(ТЭЦ-1, ТЭЦ-3, ГРЭС-2). Суммарная установленная мощность котельных (52 штуки) составляет 762 Гкал/ч. Около 81 % этой энергии генерируют котельные, работающие на природном газе, остальную часть энергии генерируют угольные котельные и котельные, работающие на мазуте. Основные характеристики углей, используемых в качестве топлива на тепловых электрических станциях, приведены в таблице 25. Это преимущественно каменные угли Кузнецкого и Канско-Ачинского угольных бассейнов.

Таблица 25 – Характеристики углей, используемых для генерации энергии

Угольные ТЭС	Уголь	$Q_{s,V}^a$, Дж/кг ($\times 10^6$)	W^a , %	A^d , %	V^{daf} , %
Кемеровская область (регион No. 1)					
Кем. ГРЭС	Каменный уголь марки СС	21,8	13,7	17,2	27,0
Кем. ТЭЦ	Каменный уголь марки ДР	21,8	14,7	15,4	42,3
Ново-Кем. ТЭЦ	Каменный уголь марки Д	21,4	14,1	13,1	41,2
Котельные	Каменный уголь марки Д	21,4	14,1	13,1	41,2
Томская область (регион No. 2)					
ГРЭС-2	Каменный уголь марки Д	21,4	14,1	13,1	41,2
Котельные	Каменный уголь марки Д	21,2	13,9	14,5	44,7
	Каменный уголь марки ДР	21,8	12	15,9	48,0

Совместный анализ данных таблиц 24 и 25 позволяет вычислить количество угля, затрачиваемого угольными тепловыми электрическими станциями и котельными трех регионов для производства тепловой и электрической энергии. Ежегодный расход высококачественного угля составляет около $10216 \cdot 10^3$ тонн (Кемеровская область – $2664 \cdot 10^3$ тонн, Томская область – $403 \cdot 10^3$ тонн). При сжигании такого количества угля выделяется около $6,51 \cdot 10^{16}$ Дж теплоты. Эта энергия с учетом КПД ТЭС 70% преобразуется в электричество и тепло. Низкий КПД ТЭС является причиной того, что достаточно большое количество энергии, выделяющейся в результате сжигания высококачественного угля, безвозвратно теряется в

процессе преобразования. Таким образом, высококачественное твердое топливо используется нерационально.

При средней стоимости угля для станций произведем расчет экономического эффекта от применения данной технологии на постоянной основе, с учетом того, что возможно использование существующих станций с небольшими доработками цеха топливоприготовления. Затраты на уголь при текущей эксплуатации приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Средние затраты на уголь при текущей эксплуатации

Потребление угля	Ежегодные затраты
Кемеровская область	
$2664 \cdot 10^3$ тонн	$5\,061,6 \cdot 10^6$ руб.
Томская область	
$403 \cdot 10^3$ тонн	$765,7 \cdot 10^6$ руб.
Итого по двум регионам	
$3067 \cdot 10^3$ тонн	$5\,827,3 \cdot 10^6$ руб.

С учетом текущих запасов отходов фильтр кеков, отработанных масел, а также ежегодного прироста данных отходов, стоимость применения данного топлива будет состоять в ближайшие 10 лет только из затрат на транспортировку от мест залежей к объектам генерации. Средние затраты на применение органоводоугольного топлива на существующих станциях приведены в таблице

27.

Таблица 27 – Средние затраты на органоводоугольное топливо при текущей эксплуатации

Потребление ОВУТ	Ежегодные затраты на транспортировку
Кемеровская область	
$3500 \cdot 10^3$ тонн	$25,0 \cdot 10^6$ руб.
Томская область	
$500 \cdot 10^3$ тонн	$312,5 \cdot 10^6$ руб.
Итого по двум регионам	

4000·10 ³ тонн	337,5·10 ⁶ руб.
---------------------------	----------------------------

На основе анализа таблиц 26, 27 можно сделать заключение о том, что органоводоугольное топливо является перспективным для применения в ближайшем времени из-за экономической выгоды. Запасов органоводоугольного топлива с учетом ежегодного прироста, достаточно для сжигания при текущем потреблении в течение следующих 10 лет. Стоит отметить, что при таком прогнозе затраты на топливо будут состоять только из затрат на его транспортировку от мест складирования, затрат электроэнергии на приготовление (сопоставимы с затратами на приготовление угольного топлива). Замена угля на композиционное топливо из отходов углеобогащения (или низкокачественного угля), отработанных масел (или горючих отходов нефтедобычи и нефтепереработки) позволит снизить расход высококачественных исчерпаемых твердых топлив.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ74	Косинцеву Андрею Георгиевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Разработка АСУ ТП приготовления органоводоугольных суспензий при переводе угольного котла на композиционное топливо

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования и области его применения	Разработка автоматизированной системы управления топливоприготовлением органоводоугольных суспензий при переводе угольного котла на композиционное топливо.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	- СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. - ГОСТ 12.1.003.2014 – Система стандартов безопасности труда. Шум - ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования - ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: 1) превышение уровня шума; 2) поражение электрическим током; 3) вибрация; 4) отклонение показателей микроклимата; 5) взрывоопасность; 6) испарения нефтепродуктов.
3. Экологическая безопасность	– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Куликова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Косинцев Андрей Георгиевич		

8 Социальная ответственность

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия (ч. 1 ст. 209 ТК).

В данной работе была спроектирована система управления топливоприготовлением органоводоугольных суспензий для сжигания в водогрейном котле НР-18. Данная система предполагает установку в котельных, и работает в полуавтоматическом режиме. Такая система позволит сократить число отходов углеобогащения и отработанных нефтепродуктов. Для обеспечения работоспособности системы необходим оператор, который будет задавать тип необходимого для приготовления топлива, а также поддерживать нормальное функционирование системы в целом. При выполнении этих работ на оператора могут воздействовать следующие вредные и опасные факторы:

- повышенная загазованность воздуха;
- недостаточная освещенность рабочего места;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- физические перегрузки;
- поражение электрическим током.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основой правового законодательства является Конституция, т. е. законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей. Существуют принятые нормы в области охраны труда:

- 1) на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат;
- 2) производственной деятельности предприятия;
- 3) единые нормативные требования по охране труда;
- 4) защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве.

Комплексная инженерная деятельность руководителя на каждом предприятии всегда должна учитывать три уровня социальной ответственности за решения, которые он принимает для исполнения федерального законодательства и нормативных правовых актов в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Первый уровень, также базовый, является обязательной составляющей социальной ответственности и включает выполнение следующих обязательств: производить своевременную оплату налогов, выплату заработной платы, по возможности производить увеличение рабочего штата.

Второй уровень социальной ответственности предприятия подразумевает применение инструментов, которые направлены улучшение качества внутренней среды для сотрудников предприятия. Например - возможности для повышения квалификации, обеспечение жильём.

Третий уровень – это наивысший уровень ответственности, который предполагает деятельность, направленную на повышение качества жизни населения, развитие общества, на территории, где функционирует предприятие.

Система топливоприготовления представляет собой опасность в нескольких аспектах. К примеру, гомогенизатор промышленный, который

непосредственно необходим для приготовления органомоделугольного топлива во время своей работы производит много шума, а также является источником множества вибраций.

Работа с легкогорючими компонентами органомоделугольного топлива (ОМТ) [23], к примеру, с отработанным турбинным маслом, может привести к возгоранию, при неосторожном обращении с ними.

Рабочие при приеме на работу периодически должны проходить медицинское освидетельствование в порядке и сроки, установленные Минздравом РФ.

Для оперативного, оперативно-ремонтного персонала (ОПР) и персонала, связанного с техническим обслуживанием, ремонтом, наладкой, испытанием оборудования, производится подготовка по должности с обучением на рабочем месте (стажировкой).

Для специалистов и руководящих работников, непосредственно осуществляющих управление энергоустановками или их обслуживание и наладку, а также всех рабочих обязательной является проверка знаний действующих правил технической эксплуатации дизельных электростанций, правил техники безопасности, инструкций, правил пожарной безопасности, правил Госгортехнадзора.

Проверка знаний правил и инструкций производится:

1) первичная – перед допуском к самостоятельной работе, но не позже трех месяцев со времени назначения на должность;

2) периодическая – по ПТЭ, производственным и должностным инструкциям, ППБ не реже одного раза в три года;

3) периодическая – по ПТБ, правилам устройства и безопасной эксплуатации оборудования, подконтрольного Госгортехнадзору, для лиц, связанных непосредственно с управлением и обслуживанием энергоустановок и для рабочих всех категорий – один раз в год, а для остальных руководящих и инженерно-технических работников - один раз в три года;

4)внеочередная – при нарушении персоналом правил, норм и инструкций, по требованию органов государственного надзора и ее зональных органов, по решению специальных комиссий и вышестоящих органов управления, при вводе в действие новых или переработанных в установленном порядке правил, норм и инструкций.

На установке топливоприготовления приказом руководителя должны быть назначены лица ответственные за состояние и безопасную эксплуатацию объектов и помещений, входящих в комплекс, а также определены должностные обязанности всего персонала по следующим направлениям:

1)организации надзора за техническим состоянием оборудования, зданий и сооружений;

2)управлению технологическими процессами по выработке электроэнергии и тепла;

3)разработке, организации и учету выполнения мероприятий, обеспечивающих безопасную и экономичную эксплуатацию объекта;

4)расследованию и учету всех нарушений в эксплуатации;

5)контролю за соблюдением требований нормативно-технических документов по эксплуатации, ремонту и наладке.

Лицом, ответственным за техническое состояние и безопасную эксплуатацию сооружений и оборудования системы приготовления топлива, является главный инженер системы топливоприготовления, а при отсутствии этой должности, начальник системы.

Периодическому техническому освидетельствованию подлежат все оборудование, здания и сооружения, входящие в состав системы топливоприготовления.

8.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создавать объект исследования

В таблице 28 приведены возможные вредные и опасные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [62], возникающие при выполнении работ.

Таблица 28 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разрабо тка	Эксплуа тация	
1. Превышение уровня шума		+	1. ГОСТ 12.1.003.2014 – Система стандартов безопасности труда. Шум [63]. 2. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [64]. 3. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования [65]. 4. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [66]. 5. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования [67].
2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	
3. Превышение уровня общей вибрации		+	
4. Отклонение показателей микроклимата	+	+	
5. Взрывоопасность		+	
6. Испарения нефтепродуктов		+	

8.2.1 Повышенный уровень шума

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, возникающих при механических колебаниях в твердых,

жидких и газообразных средах. Источником повышенного уровня шума при проведении работ двигатель дизельной электростанции и двигатель насоса сетевой воды.

Вопрос уровня шума на рабочих местах на самом деле очень важен. Повышенный шум является причиной ухудшения слышимости, преждевременной утомляемости человека, исследования доказывают, что под влиянием шума производительность труда снижается на 10%, шум уменьшает зрительную реакцию, что вместе с утомляемостью резко увеличивает вероятность ошибок при работе. Исходя из этих данных, установлены санитарные нормы допустимого уровня шума в местах эксплуатации установок, в т.ч. систем топливоприготовления. Соответственно, несоблюдение установленных норм накладывает некоторые ограничения на эксплуатацию системы топливоприготовления.

Воздействие шума с уровнем выше 140 дБ на организм человека приводит к разрыву барабанных перепонки и летальному исходу ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [63].

Источником шума в системе топливоприготовления является гомогенизатор, который периодически проводит перемешивание компонентов топлива, а также насос для прокачки топлива к гомогенизатору. Помещение, в котором установлено данное оборудование, является с временным присутствием персонала. Основное рабочее место оператора – АРМ, который отдален от технологического оборудования с целью снижения негативного воздействия на организм человека. На установках генерации (ГРЭС, ТЭЦ) приняты следующие нормативы по максимальному уровню шума в местах постоянного пребывания персонала (АРМ оператора), данный норматив составляет 75 дБ. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыша в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума.

8.2.2 Поражение электрическим током

Электробезопасность – это совокупность технических и организационных средств и мероприятий, которые обеспечивают защиту человека от опасного и вредного для жизни воздействия статического электричества, электрической дуги, электрического тока и электромагнитного поля [64].

Насосы систем топливоприготовления, электрифицированные задвижки, как и любое электрооборудование, требует повышенной осторожности в процессе использования. Причиной поражения током чаще всего является прикосновение к токопроводящим (металлическим) деталям оборудования, которые находятся под напряжением, либо по какой-либо причине лишились изоляции. Поэтому главным правилом безопасности является применение при работе с такими поверхностями специальных изолирующих средств (таких как резиновые перчатки или галоши), заземление (зануление) оборудования, либо предварительное его отключение.

Правила эксплуатации насосов:

1) для предотвращения поражения электрическим током не прикасаться к выходным клеммам во время эксплуатации;

2) монтаж проводов производится исключительно при выключенном автоматическом прерывателе и полной остановке оборудования, поскольку даже работающий на холостом ходу генератор вырабатывает опасное напряжение;

3) производить все работы только сухими руками, либо использовать защитные резиновые перчатки;

4) перед началом эксплуатации важно убедиться, что фиксирующие болты затянуты, а панель управления и боковые дверцы генератора закрыты.

В зависимости от условий производственной среды, в соответствии с «Правилами устройства электроустановок», все помещения

классифицируются по опасности поражения людей электрическим током на три группы. В соответствии с данной классификацией, территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

Для предотвращения поражения электрическим током персонала, обслуживающего автоматизированную систему, а также операторов проводится ряд мероприятий, предупреждающих поражение электрическим током:

- применение малого напряжения;
- выбор и установка электрооборудования в соответствии с условиями окружающей среды;
- ограждение токоведущих частей электрооборудования;
- устройство заземления или зануления всех металлических конструкций, которые могут оказаться под напряжением, а также применение защитного отключения;
- применение защитных средств при обслуживании электроустановок;
- организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность производства работ.

8.2.3 Повышенный уровень вибраций

Для уменьшения воздействия шума и вибраций на организм человека необходимо также проводить ряд мероприятий.

В проектируемой системе топливоприготовления имеются следующие источники вибраций: промышленный насос, гомогенизатор (кавитационная камера), установленные в помещении с временным пребыванием персонала.

Интенсивность вибраций деталей агрегатов, имеющих большие излучающие шум поверхности (корпуса агрегатов, кожухов, крышек и т. п.), следует уменьшать путем:

- облицовки этих поверхностей или заполнения специально предусмотренных в них воздушных полостей демпфирующими вибрацию материалами;
- устройства гибких связей (упругих прокладок, пружин) между этими деталями и узлами агрегата, вызывающих вибрации;
- замены металлических деталей деталями из пластмасс или других незвучных материалов;
- предусматривания минимальных допусков при изготовлении и сборке деталей агрегата для уменьшения зазоров в сочленениях деталей и тем самым уменьшения энергии соударений;
- широкого внедрения смазки соударяющихся деталей вязкими жидкостями и помещения в жидкостные масляные и другие ванны вибрирующих и издающих шум деталей (шестеренчатых редукторов и т. п.);
- заключения в изолирующие кожухи шумных узлов агрегата (шестеренчатых редукторов, цепных, ременных и других передач, соударяющихся деталей и двигателей).

Длительная эксплуатация агрегатов на объектах генерации (ГРЭС, ТЭЦ) допускается при вибрации подшипниковых опор, не превышающей $11,2 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$. При проведении мероприятий по уменьшению вибраций агрегатов (насоса и гомогенизатора), с учетом того, что место постоянного пребывания персонала отделено от вышеупомянутых агрегатов, воздействие вибраций на персонал будет практически отсутствовать.

8.2.4 Отклонение показателей микроклимата

Под состоянием воздушной среды понимаются метеорологические условия в рабочем помещении. Метеорологические условия определяются следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) скорость движения воздуха на рабочем месте;
- 3) относительная влажность.

Данные показатели должны обеспечивать оптимальные и комфортные условия для человека в помещении на протяжении его рабочей смены. Нормативами приводятся оптимальные допустимые значения параметров микроклимата [66].

Для уменьшения влажности, а также поддержания комфортной температуры в помещении устанавливаются вентиляционные системы. Воздух, всасываемый вентиляторами из атмосферы, после очистки и подогрева поступает в специальные каналы, называемые воздуховодами, и разводится по производственному помещению. Такая вентиляция называется приточной. Нагретый воздух из помещения, содержащий водяные пары, отводится из помещения с помощью системы вытяжной вентиляции.

8.2.5 Пожаровзрывоопасность

Опасными событиями, которые могут оказать влияние на пожаробезопасность обслуживающего персонала энергокомплекса, могут быть пожары и аварии на оборудовании системы. В соответствии с ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [67] должны применяться меры по минимизации воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов, возникающих в результате взрыва (пожара).

Подрядчик отвечает за пожарную безопасность при работе на рабочих участках, включая офисы, инструментальные кладовые и склады.

Подрядчик обязан обеспечить наличие утвержденного пожарного оборудования, а его работники должны быть обучены работе с таким оборудованием.

Ответственность за организацию и обеспечение пожарной безопасности при строительстве возлагается в целом на руководителя строительного предприятия, который наряду с выполнением общих требований пожарной безопасности обязан:

1) обеспечить соблюдение работниками Правил и инструкций по пожарной безопасности и не допускать к работе лиц, не прошедших противопожарный инструктаж и не сдавших зачеты по программе пожарно-технического минимума;

2) назначить ответственных лиц за пожарную безопасность на каждом производственном участке. Таблички с указанием лица, ответственного за пожарную безопасность должны быть вывешены на видных местах;

3) обеспечить в производственных и административных зданиях, помещениях, а также на территории объекта установленный противопожарный режим, оборудовать места для курения, обеспечить четкий порядок проведения строительных и огневых работ, порядок осмотра и закрытия помещений после окончания работы;

4) обеспечить постоянную готовность к работе систем пожаротушения, имеющихся на объекте и средств связи;

5) обеспечить немедленный вызов пожарных подразделений в случае пожара или опасности его возникновения при аварии;

6) одновременно приступить к ликвидации пожара или аварии имеющимися в наличии силами и средствами.

На эксплуатационной площадке опасных объектов должны находиться следующие первичные средства пожаротушения:

1) пожарная автоцистерна объемом не менее 2000 л, заправленная водой и пенообразователем не менее 150 л.;

2) асбестовое полотно размером 2х2 м – 2 шт.;

- 3) огнетушители ОП-10 или ОУ-10 – 10 шт. (или ОП-100 – 1 шт.);
- 4) лопат – 2 шт.;
- 5) ломов – 2 шт.;
- 6) багров – 2 шт.;
- 7) крюк с деревянной рукояткой – 1 шт.;
- 8) ведра – 2 шт.

8.2.6 Испарения нефтепродуктов

Проектируемая система топливоприготовления в процессе работы использует, помимо водоугольной смеси, отходы нефтепродуктов, а именно – отработанное турбинное масло. Любые нефтепродукты имеют свойства испаряться с течением времени, интенсивность испарения зависит напрямую от температуры окружающей среды. В данной системе отсутствует нагрев исходных компонентов органоводоугольного топлива, но не смотря на это, при совмещении нескольких факторов (прорыв трубопровода с отработанным турбинным маслом, разгерметизация емкости с маслом, в купе с розливом этого компонента на компоненты, имеющие повышенные температуры (электродвигатель насосного агрегата, трубопровод системы топливоподачи и др.) возможно повышение загазованности в цехе топливоприготовления. Воздействие загазованности на обслуживающий персонал возможно только при нестационарных режимах работы. При регламентном режиме работы загазованность исключается благодаря герметизации трубопровода, герметизации емкостей всех компонентов топлива, а также разделении помещений с постоянным пребыванием персонала (операторной) и непосредственно цехом, где находятся емкости с компонентами топлива, а также перекачивающие трубопроводы.

В соответствии с ГОСТ 12.1.010-76 [67] требуется минимизация вредных факторов.

Для исключения возможности загазованности предусматривается контроль температуры готового топлива, а также имеется возможность отслеживания разлива компонентов топлива посредством совместного контроля уровня в баке с готовым топливом и положения регулируемой арматуры.

8.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды – изменение естественного состава элементов окружающей среды (воздуха, воды, земель и лесов) в результате деятельности человека. Оно приводит к ухудшению условий жизни населения, существования животного и растительного мира.

В соответствии с ГОСТ Р 54906—2012 [68] при проектировании и эксплуатации требуется учитывать возможное негативное воздействие системы на экологию (экологические аспекты).

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания топлива, является одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы источника теплоснабжения.

Одно из важнейших отрицательных влияний, которые может оказать система топливоприготовления органоводоугольных суспензий на окружающую среду – протечка отработанного турбинного масла, которое используется в составе ОВУТ. А также складирование золошлаковых отходов. Так как масло является нефтепродуктом, то оно может существенно загрязнить почву, лес, а также оказать влияние на фауну.

Пропитывание нефтью почвенной массы приводит к изменениям в химическом составе, свойствах и структуре почв. Прежде всего, это сказывается на гумусовом горизонте: количество углерода в нем резко увеличивается, но ухудшается свойство почв как питательного субстрата для растений. Гидрофобные частицы нефти затрудняют поступление влаги к корням растений, что приводит к физиологическим изменениям последних. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами оказывает длительное отрицательное воздействие на почвенных животных, вызывая их массовое удаление. Отрицательное действие загрязнения осуществляется в результате прямого контакта с нефтью и через изменение свойств загрязненных почв.

Для снижения количества выбросов нефтепродуктов в атмосферу необходимо приготавливать топливо в определенных пропорциях, которые создают наименьшее количество выбросов при сгорании органоводоугольного топлива.

Также для того, чтобы избежать попадания нефтепродуктов в почву и возможного воздействия на фауну необходимо постоянно следить за исправностью системы топливоприготовления органоводоугольных суспензий, правильным функционированием всех ее компонентов.

При складировании золошлаковых отходов, которые образуются при сжигании ОВУТ [23], необходимо выбрать правильно золоотвал. Ведь зола, помимо того, что просто может улетучиваться со временем, также может проникать в почву вместе с металлами и другими вредными компонентами, которые содержатся в составе исходных компонентов органоводоугольных суспензий.

Таким образом, для снижения выбросов токсических веществ в атмосферу и повышения энерго-экологической эффективности теплоэнергетики реализуются несколько направлений, среди которых можно выделить выполнение природоохранных мероприятий; использование мероприятий по энергосбережению; внедрение экологического мониторинга; стимулирование развития научных исследований и практического применения новейших научных достижений и научно-технических разработок.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на объекте, либо на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного бедствия, диверсий, эпидемий, эпизоотий, эпифитотий или других событий, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [69].

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала, являются:

- укрытия в защитных сооружениях, в простейших укрытиях на местности;
- рассредоточение и эвакуация населения из крупных городов в загородную зону;
- своевременное и умелое применение средств индивидуальной защиты.

Так как топливо необходимо складировать для обеспечения необходимого запаса, то существует вероятность его возгорания от каких-либо внешних воздействий, несмотря на то, что органоводоугольное топливо является взрывобезопасным, оно содержит в себе легковоспламеняющиеся нефтепродукты, которые также хранятся на складе в чистом виде и представляют собой даже большую опасность, нежели ОВУТ.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние баков компонентов ОВУТ, на наличие протечек и повреждений, путем осмотра их персоналом. А также во избежание нарушений противопожарных правил на производстве необходимо проводить инструктаж и воспитательные работы с персоналом, вводить систему наказаний и штрафов за подобного рода нарушения.

Особое внимание при монтаже оборудования автоматизации необходимо уделить качеству проводимых работ. Выполненный не по заводским требованиям монтаж может привести к утечкам компонентов топлива, что в свою очередь может привести к возгоранию или загрязнению окружающей среды. Поэтому монтаж должен осуществляться слесарями КИПиА с соответствующим разрядом и допусками по электробезопасности.

В соответствии с СНиП 21-01-97 [70] администрацией здания должны быть разработаны противопожарные мероприятия.

Для проведения противопожарных мероприятий необходимо:

- обеспечить безопасность людей и разработать инструкцию по безопасности для каждого отдельного рабочего помещения;
- допускать персонал к работе только после инструктажа, при изменении специфики работы вносить изменения в инструктаж;
- при желании и необходимости создавать пожарно-технические комиссии или добровольные пожарные дружины;
- в каждом рабочем помещении на видном месте размещать таблички с номером вызова пожарной охраны;
- установить инструкцией места для курения, хранения сырья, полуфабрикатов или готовой продукции и их предельно допустимое количество, порядок уборки горючих отходов и пыли, обесточивания электрооборудования, хранения промасленной спецодежды;
- регламентировать порядок проведения пожароопасных работ, осмотра и закрытия помещений, действий коллектива при возникновении пожара. Назначить ответственного за инструктирование и проведение занятий по противопожарной безопасности, определить время проведения занятий;
- при нахождении более чем 10 человек на этаже утвердить и повесить на видном месте план/схему эвакуации, установить систему оповещения.

8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Преимуществом разработанной системы является автоматизация приготовления топлива, а также использование в качестве основного компонента отходов обогащения угля (фильтр-кек) и отработанных масел, что очищает от залежей окружающую среду. Автоматизация позволит сократить людей, которые будут необходимы для функционирования системы, также с системой можно будет работать удаленно, это позволит уменьшить вред от системы на людей, которые обеспечивают работу системы.

Социальная роль разработки САУ топливоприготовления ОВУТ – снижение пагубных факторов на окружающую среду из-за хранения отходов углеобогащения и отработанных нефтепродуктов, а также снижение тарифа на горячую воду для населения.

Как итог проделанной работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее:

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;
- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве;
- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;
- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС;
- отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рабочего персонала.

Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы разработана автоматизированная система управления приготовлением топлива из отходов углеобогащения, а также отработанного масла для последующего сжигания в топке котла факельным способом.

Практическая реализация указанной АСУ ТП предполагает перевод существующих котлов с твердого натурального топлива на перспективное композиционное топливо, характеризующееся более высокими технико-экономическими и экологическими показателями. Поэтому для учета особенностей процессов приготовления, хранения и сжигания нового топлива были выполнены соответствующие экспериментальные исследования. На основании полученных результатов сформулированы практические рекомендации, которые учтены при разработке АСУ ТП топливоприготовления.

Спроектированная АСУ ТП является трехуровневой. Верхний уровень представляет собой автоматизированное рабочее место оператора со SCADA-системой, средний – щит управления с программируемым логическим контроллером, полевой уровень включает в себя датчики расхода, удельной теплоты сгорания, а также исполнительные механизмы и регулирующие органы.

Для разработанной АСУ ТП определены параметры настройки ПИ-регулятора, а именно – постоянная времени интегрирования, а также коэффициент передачи регулятора, в качестве критерия качества использовалась первая интегральная оценка. На основании переходного процесса системы определены прямые оценки качества, включающие в себя время регулирования $t_p=107$ с, степень затухания $\Psi=0,8$ и др.

Также выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в которых соответственно перечислены основные опасные производственные факторы

и способы их предотвращения, рассчитана общая сумма затрат на реализацию проекта, экономическая эффективность проекта. Установлена достаточно быстрая для сектора энергетики окупаемость АСУ ТП топливоприготовления.

Основные публикации автора магистерской диссертации:

1. Nyashina G. S., Kosintsev A. G., Shlegel N. E., Strizhak P. A. The influence of droplet sizes of coal-water slurry containing petrocemicals on integral ignition characteristics // JP Journal of Heat and Mass Transfer.– 2016.– V. 13.– P. 265-276.
2. Glushkov D. O., Kosintsev A. G., Strizhak P. A. and Vershinina K. Yu. The influence of organic waste content on characteristics of inert heating and ignition of composite liquid fuel droplets // JP Journal of Heat and Mass Transfer.– 2016.– V. 13.– P. 81-92.
3. Kosintsev A. G., Medvedev V. V., Strizhak P. A. Change in ignition characteristics of composite liquid fuel droplet while varying the combustible liquid content // MATEC Web of Conferences.– 2015.– V. 37.– P. 1-4.
4. Glushkov D. O., Kosintsev A. G., Shlegel N. E., Vershinina K. Yu. Heat and mass transfer at hot surface ignition of coal particle // MATEC Web of Conferences.– 2015.– V. 23.– P. 1-4.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bukhonov D. Yu. and Morozov V. V. Efficiency of the multipurpose use of solid fuel at thermal power stations // Thermal Engineering.– 2003.– V. 50.– P. 1039-1042.
2. Khodakov G. S., Gorlov E. G., and Golovin G. S. Production and pipeline transportation of coal-water slurry fuel // Solid Fuel Chemistry.– 2006.– V. 40.– P. 19-35.
3. Lior N. Energy resources and use: The present situation and possible paths to the future // Energy.– 2008.– V. 33.– P. 842-857.
4. Gajewski W., Kijo-Kleczkowska A., and Leszczynski J. Analysis of cyclic combustion of solid fuels // Fuel.– 2009.– V. 88.– P. 221-234.
5. Chen R., Wilson M., Leong Y. K., Bryant P., Yang H., and Zhang D. K. Preparation and rheology of biochar, lignite char and coal slurry fuels // Fuel.– 2011.– V. 90.– P. 1689-1695.
6. Kijo-Kleczkowska A. Combustion of coal-water suspensions // Fuel.– 2011.– V. 90.– P. 865-877.
7. Wu H., Glarborg P. Frandsen F. J., Dam-Johansen K., Jensen P. A., Sander B. Trace elements in co-combustion of solid recovered fuel and coal // Fuel Processing Technology.– 2013.– V. 105.– P. 212-221.
8. Glushkov D. O., Kosintsev A. G., Strizhak P. A. and Vershinina K. Yu. The influence of organic waste content on characteristics of inert heating and ignition of composite liquid fuel droplets // JP Journal of Heat and Mass Transfer.– 2016.– V. 13.– P. 81-92.
9. Nyashina G. S., Kosintsev A. G., Shlegel N. E., Strizhak P. A. The influence of droplet sizes of coal-water slurry containing petrocemicals on integral ignition characteristics // JP Journal of Heat and Mass Transfer.– 2016.– V. 13.– P. 265-276.

10. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Mathematical simulation of the ignition of coal particles in airflow // *Solid Fuel Chemistry*.– 2015.– V. 49.– P. 73-79.
11. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Low-Temperature Ignition of Coal Particles in an Airflow // *Russian Journal of Physical Chemistry B*.– 2015.– V. 9.– P. 242-249.
12. Glushkov D. O., Strizhak P. A., Vysokomornaya O. V. Numerical research of heat and mass transfer during low-temperature ignition of a coal particle // *Thermal Science*.– 2015.– V. 19.– P. 285-294.
13. International Energy Agency, 2017. Key world energy statistics. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>
14. BP, 2017. Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>
15. U.S. Energy Information Administration, 2017. International Energy Outlook. [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf).
16. Stegenta, S., Dębowski, M., Bukowski, P., Randerson, P.F., Białowiec, A., 2018. The influence of perforation of foil reactors on greenhouse gas emission rates during aerobic biostabilization of the undersize fraction of municipal wastes. *Journal of Environmental Management*. 207, e10.
17. International Energy Agency, 2017. Coal Information. <http://www.iea.org>.
18. James D. W., Krishnamoorthy G., Benson S. A., Seames W. S. Modeling trace element partitioning during coal combustion // *Fuel Processing Technology*.– 2014.– V. 126.– P. 284-297.
19. Wilczyńska-Michalik W., Moryl R., Sobczyk J., Michalik M. Composition of coal combustion by-products: The importance of combustion technology // *Fuel Processing Technology*.– 2014.– V. 124.– P. 35-43.

20. Belošević S., Tomanović I., Beljanski V., Tucaković D. and Živanović T. Numerical prediction of processes for clean and efficient combustion of pulverized coal in power plants // *Applied Thermal Engineering*.– 2015.– V. 74.– P. 102-110.
21. Bartoňová L. Unburned carbon from coal combustion ash: An overview // *Fuel Processing Technology*.– 2015.– V. 134.– P. 136-158.
22. Kosintsev A. G., Medvedev V. V., Strizhak P. A. Change in ignition characteristics of composite liquid fuel droplet while varying the combustible liquid content // *MATEC Web of Conferences*.– 2015.– V. 37.– P. 1-4.
23. Kontorovich A. E., Epov M. I., Eder L. V. Long-term and medium-term scenarios and factors in world energy perspectives for the 21st century // *Russian Geology and Geophysics*.– 2014.– V. 55.– P. 534-543.
24. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of initial sizes and velocities of water droplets on transfer characteristics at high-temperature gas flow // *International Journal of Heat and Mass Transfer*.– 2014.– V. 79.– P. 838-845.
25. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental investigation of mixtures and foreign inclusions in water droplets influence on integral characteristics of their evaporation during motion through high-temperature gas area // *International Journal of Thermal Science*.– 2015.– V. 88.– P. 193-200.
26. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Water droplet deformation in gas stream: Impact of temperature difference between liquid and gas // *International Journal of Heat and Mass Transfer*.– 2015.– V. 85.– P. 1-11.
27. Шинников П. А., Евтушенко Е. А., Овчинников Ю. В., Ноздренко Г. В., Пугач Л. И., Томилов В. Г., Пугач Ю. Л. Теплоэнергетика.– 2001.– № 7.– С. 30-32.
28. Горлов Е. Г., Серегин А. И., Ходаков Г. С. Химия твердого топлива.– 2007.– № 6.– С. 51-57.

- 29.Folgueras B., Diaz R., Xiberta J., Prieto I. Thermogravimetric analysis of the co-combustion of coal and sewage sludge // *Fuel*.– 2003.– V. 82.– P. 2051-2055.
- 30.Tavangar S., Hashemabadi S. H., Saberimoghadam A. CFD simulation for secondary breakup of coal–water slurry drops using OpenFOAM // *Fuel Processing Technology*.– 2015.– V. 132.– P. 153-163.
- 31.Glushkov D. O., Shabardin D. P., Strizhak P. A., Vershinina K. Yu. Influence of organic coal-water fuel composition on the characteristics of sustainable droplet ignition // *Fuel Processing Technology*.– 2016. – V. 143.– P. 60-68.
- 32.Khodakov G. S., Coal-water suspensions in power engineering // *Therm. Eng.*– 2007.– V. 54 (1).– P. 36-47.
- 33.Jianzhong L., Ruikun W., Jianfei X., Junhu Z., Kefa C. Pilot-scale investigation on slurrying, combustion, and slagging characteristics of coal slurry fuel prepared using industrial waste liquid // *Applied Energy*.– 2014.– V. 115.– P. 309-319.
- 34.Vedruchenko V. R., The dynamics of droplet transformations in the flame of a water-fuel oil emulsion used as the fuel for boiler installations // *Therm. Eng.*– 2000.– V. 2.– P. 57-60.
- 35.Hu Q., Xiong Y., Mao K., Combustion characteristics of sewage sludge, coal water slurry and sludge-CWS mixtures by thermo gravimetric analysis // *Environ. Pollut. Cont.*– 2008.– V. 30.– P. 60-63.
- 36.Glushkov D. O., Lyrschikov S. Yu., Shevyrev S. A., Strizhak P. A. Burning Properties of Slurry Based on Coal and Oil Processing Waste // *Energy & Fuels*.– 2016.– V. 30 (4).– P. 3441-3450.
- 37.Glushkov D. O., Strizhak P. A., Vershinina K. Yu., Minimum temperatures for sustainable ignition of coal water slurry containing petrochemicals // *Applied Thermal Engineering*.– 2016.– V. 96.– P. 534-546.

38. Glushkov D. O., Syrodoy S. V., Zakharevich A. V., Strizhak P. A. Ignition of promising coal-water slurry containing petrochemicals: Analysis of key aspects // Fuel Processing Technology.— 2016.— V. 148.— P. 224-235.
39. Janiszewski J., Measurement procedure of ring motion with the use of high speed camera during electromagnetic expansion // Metrol. Meas. Syst.— 2012.— V. 19 (2).— P. 797-804.
40. Стальной секционный трубчатый котел НР-18. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://dlyakotlov.ru/catalog/kotly/nr-18-nr-55> свободный. — Загл. с экрана.
41. Вершинина К. Ю. Низкотемпературное зажигание отходов переработки угля в виде органоугольных топливных композиций : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук : спец. 01.04.17 / К. Ю. Вершинина ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; науч. рук. П. А. Стрижак. — Томск, 2016.
42. SIMATIC S7-200 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ste.ru/siemens/contr.html> свободный. — Загл. с экрана.
43. ВЭСТ-02 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://npowest.ru/.html> свободный. — Загл. с экрана.
44. ПЛК63 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf свободный. — Загл. с экрана.
45. Промтех. Каталог приборов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.promtex.ru/trolex1/> свободный. — Загл. с экрана.
46. Датчики уровня ПМП-115, ПМП-125, ПМП-135, ПМП-145. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nppsensur.ru/product/140> свободный. — Загл. с экрана.

47. Вибрационный сигнализатор уровня Teplopribor VibroTouch. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.staroruspribor.ru/catalog/VibT/> свободный. – Загл. с экрана.
48. Датчики давления LFH. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sick.com/ru/ru/fluid-sensors/pressure-sensors/lfh/c/g140059> свободный. – Загл. с экрана.
49. Omnicomm LLS4. Новое оборудование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.omnicomm.ru/fuel-sensors/> свободный. – Загл. с экрана.
50. ТСМ 1107, ТСП 1107 термопреобразователь сопротивления медный и платиновый. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.teplocontrol-sm.ru/TSM-1107--TSP-1107.html> свободный. – Загл. с экрана.
51. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/32.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
52. Блоки управления БУЭР 1-30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elkont.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
53. Насосы Abaque. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pompushop.ru/catalog/peristalticheskie_nasosy/abaque/ свободный. – Загл. с экрана.
54. Насосы Blackmer. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vipt.ru/obiemnye_shibernye_plastinchatye_nasosy_dlja_himii_Blackmer.html свободный. – Загл. с экрана.
55. Ильина И.Л. Проектирование автоматизированных систем: Учебное пособие. – Ангарск: Изд. АГТА, 2005. – 308 с.
56. ГОСТ 2.721-74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. – Москва: Изд. Стандартинформ, 2008. – 134 с.

- 57.ООО «Электропоставщик». Кабельно-проводниковая продукция, кабель АКРВБГ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cable.ru/cable/group-akrvbg.php> свободный. – Загл. с экрана.
- 58.Корпуса серии ЩШМ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://izhavtomatika.ru/images/pdf/met.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
- 59.Программное обеспечение ПТК АСУ ТП. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energocert.ru/asutp/programmnoe-obespechenie-ptk-asu-tp-i-lokalnyx-sau/> свободный. – Загл. с экрана.
- 60.Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293830/4293830898.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
- 61.Системное ПО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.maksakov-sa.ru/ProgrProd/klasProgProd/SysProgrObes/index.html> свободный. – Загл. с экрана.
- 62.ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2016. – 10 с.
- 63.ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2015. – 27 с.
- 64.ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2019. – 20 с.
- 65.ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2010. – 16 с.
- 66.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – Москва: Изд. Моркнига, 2019. – 16 с.

- 67.ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. – Москва: Изд. ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7 с.
- 68.ГОСТ Р 54906—2012. Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2012. – 54 с.
- 69.ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2016. – 12 с.
- 70.СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Москва: Изд. Деан, 2007. – 21 с.
- 71.Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 109 с.

Приложение А
(обязательное)

Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
1а...4а	Сигнализатор уровня вибрационный, предел допускаемой основной погрешности ± 5 мм, сигнализация 2000 мм, выходной сигнал 24 В, маркировка по взрывозащите ExdIIС-T5. ОАО «Старорусприбор», г. Старая Русса	Vibro Touch	4
6а	Датчик уровня емкостной, предел допускаемой основной погрешности ± 1 %, верхний предел измерений 2500 мм, выходной сигнал RS-485. ООО «Омникомм Технологии», г. Москва	Omnicom LLS4	1
5а...7а	Термопреобразователь сопротивления медный, верхний предел измерений 180 °С, НСХ 50М, класс допуска В. ОАО «Теплоконтроль», г. Смоленск	ТСМ 1107	2
5б	Насос объемный шиберный для перекачки жидкостей ООО «ВИП Технолоджи», г. Санкт-Петербург	Blackmer MLX	1
12а	Контроллер программируемый, логический, микропроцессорный, количество входов – 8 аналоговых и 8 дискретных, количество выходов – 6 (1 – э/м реле, 4 А, 220 В; 5 – ЦАП, 0...10 В). ОАО «ОВЕН», г. Москва.	ОВЕН ПЛК63	1
12б	Модуль расширения для ОВЕН ПЛК63 количество выходов – 8 дискретных (8 – э/м реле, 4 А, 220 В). ОАО «ОВЕН», г. Москва.	ОВЕН МР1	1
8а...11а	Блок управления электродвигателем реверсивный, входной сигнал управления 24 ± 6 В, климатическое исполнение УХЛ 4.2. ЗАО «Волмаг», г. Чебоксары.	БУЭР1-30-02	4
8б...11б	Механизм электроисполнительный однооборотный. в составе с токовым блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки – 1999. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	МЭО-250/63-0,25У-99	4
		ФЮРА.421000.007 СО1	
Исполнил	Косинцев	Спецификация приборов и средств автоматизации	Стад
Проверил	Глушков		Лист
			Листов
			ТРП
			1
			ТПУ
			НОЦ И.Н. Бутакова
			Группа
			5БМ74

Приложение Б
(обязательное)

Experimental research on the ignition of coal-water slurries

Раздел (1)
Экспериментальные исследования

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Косинцев Андрей Георгиевич		

Консультант отделения (НОЦ) школы: ИШФВП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы: ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черемисина Харрер И.А.	к.фил.н., доцент		

The results of theoretical and experimental studies, field tests, industrial implementation and trial operation of coal-water and organ-coal technologies over the past 30 years have shown great benefits for humanity [3, 6, 9, 32, 33].

First, the economic effect is important, which consists in expanding the raw energy base by involving low-grade coals and numerous coal and oil refining wastes. Secondly, in recent years, the energy advantages of coal-water slurries (CWS) are highlighted in comparison with traditional pulverized coal fuel. These advantages consist mainly in low-temperature (ignition temperature can be reduced by 100–200 K) ignition of fuels and reduction of fire danger inherent in the processes of preparation and transportation of highly reactive coal dust at power plants.

An analysis of research by the world scientific community (in particular, publications [33–35]) shows that a fairly large group of substances can be the main components of CWS. Solid combustible components: coal of various grades (wood, brown, stone, anthracite), products and waste of coal processing and coal preparation.

One of the main problems with the use of CWS is the lower heat emission compared with traditional coal fuels. This is mainly due to the use of low-grade coals or processing waste in CWS. It is of interest to experimentally determine the mechanisms that allow an increase in heat release when working with CWS. It is difficult to carry out such studies on actually operating power plants due to high material costs and the difficulty of controlling the influence of only one or two factors (multifactorial experiments are inevitable, which make it difficult to understand the relevant processes and the effects studied). Laboratory experimental studies of the effect of a group of basic parameters on the temperature of combustion of CWS with typical component compositions are advisable. The most widely accepted approach is considered to be an approach based on suspending a single drop (particle) of CWS at the junction of a low-inertia thermocouple or ceramic filaments (rods or wires). The main advantage of this approach is the

ability to control the temperature of the sample (drop or particle) of the fuel and the conditions of its staged combustion.

Actually, using the example of a single droplet, perform an experimental analysis of the maximum combustion temperatures of CWS when varying the main parameters of the ignition processes: temperature, size of the fuel drop, component composition of the latter.

Typical coal processing waste - filter cake (based on K, D grades) was used as solid combustible components of CWS. This waste is generated in coal preparation plants. As a result of the process, the coal is washed with water using surfactants. In the future, the coal is divided into fractions at the screens. The water used for washing the rock is supplied to special tanks, where sedimentation of coal particles takes place. The coal-water slurry is pumped out and passed through belt press filters to squeeze out water. The wet residue (a mixture of water and coal) is a cake. The average particle size of the coal dust in the cake was no more than 100 microns. Such a particle size is typical for flotation wastes and is related to the fact that, in industry, the most demanded and widespread grinding of enriched coal is the range of 50–100 μm . Tables B.1 and B.2 show the results of the technical and elemental analysis of the cake. Table B.3 presents the share of water in the initial state of the cake (i.e., when obtained at the coal preparation plants), as well as the measured heat of combustion.

Table B.1 – The results of the technical analysis of samples of the cake (in dry condition)

Coal cake	A^d , %	V^{daf} , %	$Q_{s,v}^a$, MJ/kg
grade K	26,46	23,08	24,83
Grade D	36,99	41,47	19,24

Table B.2 – The results of the analysis of the elemental composition of the cake (in a dry state)

Coal cake	$C^{daf}, \%$
grade K	87,20
grade D	73,27

Table B.3 – The results of the analysis of the characteristics of the cake in the original (wet) state

Coal basecake in original (wet) condition	Mass fraction of dry matter, %	$Q_{s,V}^a$, MJ/kg
grade K	56,5	14,1
grade D	43,2	8,3

As liquid combustible components CWS used waste turbine oil. Table B.4 shows the results of its technical analysis.

Table B.4 – The results of the analysis of the characteristics of the liquid combustible component

Component name	ρ at 293 K, kg/m ³	$W^a, \%$	$A^d, \%$	T_f, K	T_{ign}, K	$Q_{s,V}^a$, MJ/kg
Used turbine oil	868	—	0,03	448	466	45,1

To improve the stability (reduce the effect of delamination) of the fuel compositions in the composition of CWS, the plasticizer Neolas was used (see table B.5).

Table B.5 – The main characteristics of the plasticizer

Indicator	Value
Appearance	Colorless liquid
The content of surfactant, %	25
pH of solution	6,5
Density at 293 K, kg/m ³	954

The method for assessing the segmental stability of fuel suspensions is similar to that used in experiments [36]. The method of studying stratification was used, consisting in measuring the volume of a layer of separated temporary water or water-oil ligament from the main mass during its storage and transportation. Observation of the process of stratification of the samples was carried out using measuring cylinders with a capacity of 50 ml with a division value of 1 ml. The test fuel samples were poured into the measuring cylinders in a volume of 50 ml. After a one-hour delay, the volume of the ligament (V_c) separated (more transparent after the searchlight by the searchlight) was visually determined. The stability index Y_l was calculated relative to the initial volume of fuel V_0 using the formula: $Y_l = V_c / V_0$. It was believed that the composition of the organo-coal fuel exfoliated upon reaching the value of Y_l of 0.05. Similar methods for determining the duration of maintaining the structural stability of fuels were used in [31, 37, 38]. The main difference of this work is that in experiments [31, 37, 38] the control was carried out not by volume, but by the height of the separated ligament (the parameter Y_l was calculated as the ratio of the corresponding heights).

It has been established that all fuel compositions retain segmental stability for at least 6 days. Therefore, it was decided to conduct research with all compositions for a period not exceeding 5 days from the date of preparation of CWS.

The preparation of CWS was carried out using the MPW-302 homogenizer (disperser). In accordance with the recommendations [31, 37, 38], in the first stage, a water-oil emulsion was prepared. Components (according to the required relative mass concentration, water and oil or another flammable liquid were injected) were added to the homogenizer after preliminary weighing with the scales. The duration of the process of mixing the components of water-oil emulsion ranged from 3 to 4 minutes. Then a cake was introduced into the homogenizer glass with the prepared emulsion. The duration of this stage of the process of preparing the fuel suspension ranged from 8 to 10 minutes. On average, the relative mass concentration of the

solid fuel component varied from 30 to 60 %, water – from 40 to 70 %, the liquid fuel component from 5 to 25 %, the plasticizer – 0.5 %.

The stand is shown in figure B.1. In the experimental stand, several characteristic blocks and assemblies can be distinguished: forming a heated oxidant flow, placing a drop of fuel in the combustion chamber and controlling the integral characteristics of the combustion processes.

The generation of CWS droplets was performed by a Finnpiquette Novus electronic dosing unit (the minimum and maximum dosage volumes were 10^{-6} dm^3 and $10 \cdot 10^{-6} \text{ dm}^3$, the variation step was $0.1 \cdot 10^{-6} \text{ dm}^3$). Using the high-speed camera 10 (figure B.1) Phantom Miro M310 and Tema Automotive software [39] determined the size (radius) of organodoal fuel droplets. The mean radius of the drop R_d was determined by the average value. The systematic error in determining R_d with the appropriate video camera resolutions did not exceed 4 %. The initial droplet sizes varied from 0.5 to 2 mm.



Figure B.1 – Diagram of the experimental setup: 1 – quartz cylinder; 2 – supercharger; 3 – air heater; 4 – heating unit control panel; 5 – low inertia

thermocouple; 6 – thermocouple; 7 – the registrar; 8 – coordinate mechanism; 9 – a drop of fuel; 10 – high-speed camera; 11 – the computer; 12 – air vent; 13 – exhaust hood

A flow of atmospheric air in the cavity of cylinder 1 (internal diameter 0.1 m) was formed by a supercharger 2 (power 0.25 kW, gas consumption no more than 1200 dm³ / min.) and air heater 3 (power 11 kW, maximum gas temperature at the exit 1250 K), length 1 m) of quartz glass. The velocity V_g and temperature T_g of the oxidant flow in cylinder 1 were varied in the ranges from 0.5 to 5 m/s and from 600 to 1200 K, respectively. The movement speed was measured with a UnionTest AN110 anemometer (measurement resolution 0.1 m/s) at $T_g \approx 300$ K. To control the speed of the oxidizer V_g at high temperatures T_g , it is impossible to use the anemometer. Therefore, similarly to experiments [31, 37, 38], the panoramic optical method PIV was used. The volume concentration of oxygen in the air (after passing through the heater) was determined using a Testo 340 gas analyzer. Over a wide range of variations in the speed and temperature of the air flow, the concentration of the oxidizer was about 20.5 %.

A drop of CWS with a known Rd after generation of the dispenser was hung on the junction of a low-inertia thermocouple 5 (figure B.1). A platinum – platinum – rhodium thermocouple was used (measured temperature range from 273 to 1873 K, inertia no more than 1 s). The temperature Td was measured at the “junction of thermocouple – drop OWUT” boundary. In the first approximation, the value of Td can be considered as the temperature at the center of the drop. In each experiment, the process of wrapping the thermocouple junction 5 with the OVUT film was monitored. The permissible deviation in film thickness relative to the average value was taken not more than 10 %. The coordinate mechanism 8 (figure B.1) moved the thermocouple 5 with a drop of CWS suspended from its junction in the cylinder 1. The movement speed did not exceed 0.5 m/s. This is due to the requirements of preserving the integrity of the drop, its initial size and position on the thermocouple during entry into the stream of heated air. The second

similar thermocouple was used to measure the surface temperature of the drop T_s . In all the experiments performed, this thermocouple was fixed in such a way that the temperature of the surface of the fuel droplet was measured from the side of the flowing oxidant flow.

In the experiments, the following parameters were recorded: temperature T_g and velocity V_g of air flow, temperature at the junction “thermocouple junction – fuel drop” T_d , surface temperature of the fuel drop T_s , initial size R_d of droplet, ignition delay τ_d , full combustion time τ_c . The parameter τ_d represented the time from the moment of input of drop 9 into the channel of cylinder 1 to the fulfillment of the ignition criterion, which consists in the simultaneous satisfaction of the conditions [36, 37]: $T_d > T_g$ and $dT_d/d\tau > 10$ K/s. The parameter τ_c is the time from the moment a fuel drop is introduced into the oxidant flow (figure B.1) until the sample is completely burned out, which was characterized by the deviation of T_d relative to the steady-state value (as $\tau \rightarrow \infty$) by no more than $0.05 \cdot T_d^{max}$ (T_d^{max} is the maximum temperature of the drop in the process of burning). Methods for assessing systematic and random errors in determining the main parameters in the experiments performed are similar to those described in [31, 37, 38]. To ensure satisfactory repeatability of the experimental results, 6–8 experiments were conducted under identical conditions.

The experiment included the following stages:

- 1) a drop of the prepared fuel was generated by the dispenser and placed on the junction of the thermocouple;
- 2) using the coordinate mechanism, the CWS droplet was moved to the combustion chamber (cylinder with specialized technological holes);
- 3) due to the continuous video recording, video frames were recorded at the entrance to the combustion chamber, with the use of which the initial radius of the drop R_d was determined, and also the timing of the ignition delay and complete combustion of the fuel began;
- 4) after braking the coordinate with the drop placed on the axis of symmetry of the cylinder, the imager started to record the temperature of the fuel

by the thermal imager (it was multisampled at 10 frames per second), by continuously recording the temperatures T_d and T_s on thermocouples, the temperature of the surface and in the center of the drop of fuel was controlled;

5) after the ignition criterion $T_d > T_g$ and $dT_d/d\tau > 10$ K/s, the video camera recorded the value τ_d ;

6) after the criterion of complete combustion of the fuel $T_d = T_g \pm 0.05 T_d^{max}$, the video camera recorded the value of τ_c ;

7) then the thermocouple junction with the ash residue was removed by a coordinate mechanism from the combustion chamber, cleaned, cooled to a temperature of 300 K;

8) temperature trends were automatically saved on the recorder, which was synchronized with the personal computer, using the latter, trends were recorded corresponding to the stages of ignition of the fuel and the maximum values of the fuel temperature T_d^{max} were determined.

The main results of the experiments were the minimum temperatures at which the fuel was ignited (figure B.2), the maximum combustion temperatures of CWS (figure B.3), as well as the stability of the compositions (coal-water slurries), which are listed in table B.6.

Table B.6 – The stability of the investigated CWS compounds

Concentrations of CWS components	Stability, days
89.5% «K» cake, 10% used turbine oil, 0.5% plasticizer	7
89.5% cake «D», 10% waste turbine oil, 0.5% plasticizer	7

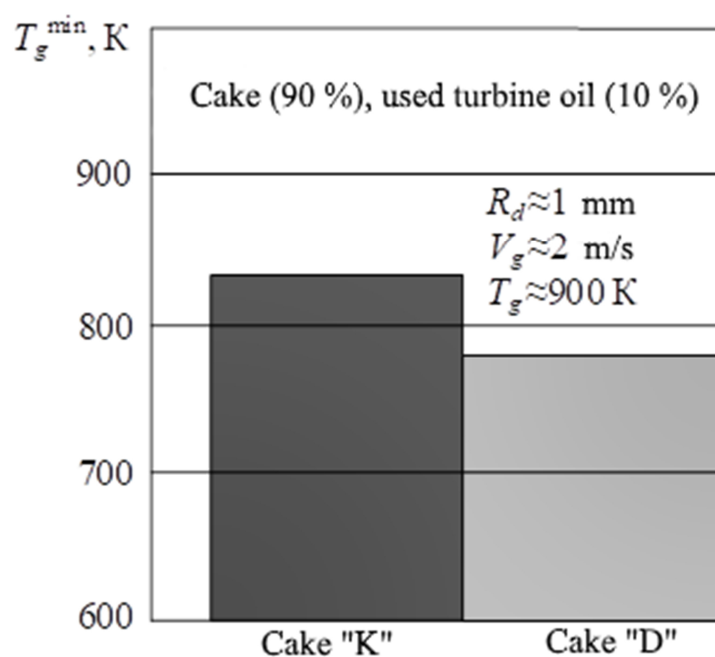


Figure B.2 – Minimum ignition temperatures of CWS for various filter cakes with used turbine oil (10 %) with air velocity $V_g=2$ m/s and the radius of the drops $R_d=1$ mm

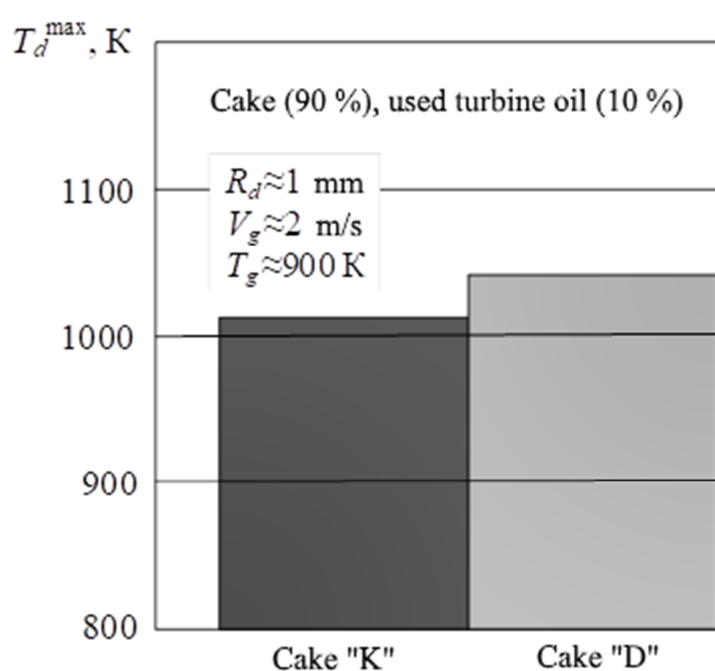


Figure B.3 – Maximum combustion temperatures of CWS for various filter cakes with used turbine oil (10 %) with air velocity $V_g=2$ m/s and the radius of the drops $R_d=1$ mm